

РАДІОАСТРОНОМІЯ І АСТРОФІЗИКА

DOI: <https://doi.org/10.15407/rpra24.01.003>

УДК 523.164

PACS numbers: 95.55.Jz,
95.30.-k, 95.55-n

О. О. КОНОВАЛЕНКО, В. В. ЗАХАРЕНКО, М. М. КАЛІНІЧЕНКО,
В. М. МЕЛЬНИК, М. А. СИДОРЧУК, О. О. СТАНІСЛАВСЬКИЙ,
С. В. СТЕПКІН, О. М. УЛЬЯНОВ

Радіоастрономічний інститут НАН України,
вул. Мистецтв, 4, м. Харків, 61002, Україна
E-mail: akonov@rian.kharkov.ua

РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ ВСЕСВІТУ НА ДЕКАМЕТРОВИХ ХВИЛЯХ

(за матеріалами циклу праць, що отримав Державну премію України
в галузі науки і техніки у 2018 році)

Предмет і мета роботи: Реферативна репрезентація та огляд праць останнього 40-річчя в галузі низькочастотної радіоастрономії та узагальнення їх головних науково-технічних результатів, удостоєних Державної премії України в галузі науки і техніки за 2018 р.

Методи та методологія: Використано унікальні вітчизняні засоби та спостережні методи для комплексних довготривалих експериментальних і теоретичних досліджень великої вибірки об'єктів Всесвіту в діапазоні декаметрових–метрових радіохвиль.

Результати: Показано високоінформативні можливості низькочастотних ($8 \div 80$ МГц) радіоастрономічних досліджень Сонячної системи, Галактики та Метагалактики, що дозволили виявити та вивчити нові астрофізичні об'єкти та явища, побудувати і уточнити їх моделі та механізми космічного радіовипромінювання.

Висновки: На основі створення, модернізації та використання найбільших у світі радіотелескопів декаметрових–метрових хвиль УТР-2, УРАН, ГУРТ протягом останніх десятиліть отримано великий обсяг пріоритетних науково-технічних результатів і фундаментальних відкриттів. Виявлено нові об'єкти та явища, механізми радіовипромінювання, невідомі раніше енергетичні, просторові, частотні, часові, поляризаційні параметри сигналів, що змінюються в неочікувано великому діапазоні значень. Засоби, методи та результати вітчизняної радіоастрономії добре відомі й визнані в науковому світі, вони є незамінними, всебічно зажаданими і активно використовуються в міжнародних дослідженнях. Представлений цикл праць, отримані результати та присудження Державної премії України в галузі науки і техніки підтверджують та розвивають пріоритет України в одному з найактуальніших напрямків сучасної астрономічної науки – низькочастотній радіоастрономії.

Ключові слова: Всесвіт, низькочастотна радіоастрономія, радіотелескоп, Сонячна система, Галактика, Метагалактика

Зміст

1. Вступ
2. Виникнення та розвиток радіоастрономії декаметрових хвиль в Україні
3. Головні напрямки та результати радіоастрономічних досліджень останніх десятиліть

- 3.1. Антени, апаратура, методи спостережень
- 3.2. Сонячна система
- 3.3. Галактика
- 3.4. Метагалактика
4. Механізми радіовипромінювання астрофізичних об'єктів на низьких частотах
5. Низькочастотна радіоастрономія у світі та внесок України в її розвиток
6. Наукометричні показники вітчизняних досліджень та висновки

Список літератури

© О. О. Коноваленко, В. В. Захаренко, М. М. Калініченко,
В. М. Мельник, М. А. Сидорчук, О. О. Станіславський,
С. В. Степкін, О. М. Ульянов, 2019

1. Вступ

Підготовка, подання та розгляд наукових праць на здобуття Державних премій в галузі науки і техніки, а також присудження премій кращим роботам є важливим кроком у ретельній і незалежній науковій експертизі досліджень. Щороку Комітет з Державних премій в галузі науки і техніки присуджує одну премію (на 3-4 подані наукові праці) у галузі фізики. В 2018 р. (рік 100-ліття Національної академії наук України) премія була присуджена за цикл радіоастрономічних досліджень “Радіовипромінювання Всесвіту на декаметрових хвилях”. Хоча вся інформація стосовно кожної праці (опис, копії обраних статей, реферат, відгуки на праці, коментарі на сайті та ін.) мають у базі даних Комітету, але ознайомитися з нею не дуже просто. Тому з метою підвищення оперативності і простоти аналізу зміста праці в журналі “Радіофізика і радіоастрономія”, що видає Радіоастрономічний інститут НАН України, публікується відповідна оглядова стаття. Це доцільно й тому, що всі автори є співробітниками РІ НАН України. Стаття підготовлена за матеріалами циклу праць та рефератом до нього, до статті додаються обрані ілюстрації та список публікацій.

Радіоастрономія є одним з найбільш прогресуючих напрямків фундаментальної науки, який значно збагатив знання людства про Всесвіт. Є вагомим підставою вважати, що подальший розвиток цієї науки дасть нові відкриття, що є важливими як для астрофізики, так і для фізичної науки у цілому. Наразі відповідні дослідження охоплюють найширший діапазон космічного радіовипромінювання від кілометрових, гектаметрових, декаметрових, метрових хвиль (частоти 30 кГц ÷ 300 МГц), які відносяться до низькочастотної радіоастрономії, до дециметрових, сантиметрових і міліметрових хвиль (частоти 300 МГц ÷ 300 ГГц) – високочастотний діапазон.

Нагадаємо, що радіоастрономія як наука народилася саме у декаметровому діапазоні хвиль близько 85 років тому завдяки Карлу Янському, котрий випадково відкрив радіовипромінювання нашої Галактики поблизу частоти 20 МГц. Однак подальший прогрес цієї молодшої науки був пов’язаний, перш за все, з освоєнням усе більш короткохвильових ділянок радіоспектра – до сантиметрових та міліметрових хвиль. Причини цього прості та очевидні – для покращення ку-

тової роздільної здатності (це одне з головних завдань спостережної астрономії взагалі), яке визначається відношенням довжини хвилі електромагнітного випромінювання до розміру телескопа, необхідно скорочувати довжину хвилі. Крім того, вже в ті роки стали очевидними й інші апаратно-методичні та фізичні проблеми низькочастотної радіоастрономії. До них відносяться висока яскравісна температура галактичного фону, яка обмежує чутливість радіотелескопів (особливо коли треба досягнути високої частотно-часової роздільної здатності), негативний вплив середовища на поширення низькочастотних радіохвиль, що катастрофічно руйнує структуру космічних сигналів, а також величезна кількість земних радіозавад штучного та природного походження, значно інтенсивніших, ніж корисні сигнали з космосу.

З цієї причини до 60-х рр. минулого століття невелика кількість найнижкочастотніших радіотелескопів (перш за все декаметрового діапазону хвиль з частотами 10 ÷ 30 МГц, оскільки на менших частотах радіовипромінювання на Землю взагалі не проходить крізь іоносферу) мали низьку кутову роздільну здатність, чутливість, вузьку смугу частот, та не могли керувати променем. Однак вже тоді попередні фізичні та астрофізичні оцінки показували, що низькочастотна радіоастрономія спроможна давати унікальну інформацію про Всесвіт. В основі таких оцінок було порівняння спектральних індексів різних механізмів випромінювання, які принципово відрізняються за значенням та знаком відповідної похідної – теплове радіовипромінювання домінує на високих радіочастотах та в оптиці, а нетеплове радіовипромінювання – навпаки, у тисячі разів інтенсивніше на низьких частотах. Безумовно, ці передбачення вимагали ретельного експериментального та теоретичного підтвердження.

2. Виникнення та розвиток вітчизняної радіоастрономії декаметрових хвиль в Україні

Одним з тих, хто першим оцінив високу астрофізичну значущість радіоастрономії декаметрових хвиль і ризикнув розпочати її розвиток, був видатний вчений академік НАН України Семен Якович Брауде (1911–2003). Під його керівництвом у 60-х рр. минулого століття почала створюватися експе-

риментальна база декаметрової радіоастрономії (рис. 1). В результаті близько 50 років тому поблизу Харкова був побудований унікальний величезний радіотелескоп УТР-2. Дещо пізніше у різних місцях України на відстанях до 1000 км (розподілених з півдня на північ і з заходу на схід) була побудована серія радіотелескопів УРАН-1, ..., УРАН-4. Можна із вдячністю згадати постійну зацікавленість та підтримку розвитку радіоастрономії декаметрових хвиль Президента НАН України Бориса Євгеновича Патона і всього керівництва Академії. У 2018 р. Б. Є. Патону виповнилося 100 років, і він, як завжди, демонструє могутній інтелект, блискучу пам'ять, великі науковий і людський світогляд та порядність.

Відразу після створення та введення в дію радіотелескопу УТР-2 стали зрозумілими деякі недоліки в апаратно-методичній сфері, пов'язані з рівнем науки і техніки тих далеких років. Ці недоліки обмежували нові спостереження та широкомасштабні астрофізичні дослідження. В ті часи головним чином вивчалися найінтенсивніші радіоджерела континуального (неперервного) випромінювання, галактичний фон, а також потужні радіосплески Сонця та Юпітера. Пригадаємо, що тоді світова низькочастотна радіоастрономія практично взагалі не розвивалась за вказаних вище причин.

Однак ситуація змінилася у 70-х рр., коли у низькочастотну радіоастрономію стало можливим впроваджувати напівпровідникову апаратуру і мікросхемотехнику, цифрову реєстрацію і обробку сигналів, комп'ютери та програмування, теорію інформації, методи сучасної теоретичної й експериментальної фізики. Саме це збагатило апаратно-методичну і спостережну базу УТР-2 і відкрило принципово нову сторінку в існуванні та розвитку декаметрової радіоастрономії. У результаті отримано безліч пріоритетних наукових результатів, які стали добре відомими, визнаними, зажаданими світовою радіоастрономічною спільнотою та стимулювали активний розвиток цього актуального наукового напрямку за кордоном [1–3].

Значною мірою наукова новизна представлено-го циклу праць та високий рівень отриманих результатів було забезпечено комплексним підходом до наукової діяльності, а саме: поєднанням апаратно-методичних розробок, проведенням довготривалих складних радіоастрономічних спостере-

жень на найкращих у світі вітчизняних радіотелескопах, обробкою великих обсягів експериментальних даних, астрофізичною інтерпретацією та теоретичним аналізом спостережної інформації. Це дозволило отримати нові наукові результати, зробити низку наукових відкриттів в усіх перерахованих вище напрямках діяльності, головні серед яких наведені у наступних розділах.

3. Головні напрямки та результати радіоастрономічних досліджень останніх десятиліть

3.1. Антени, апаратура, методи спостережень

Розроблено, впроваджено та постійно модернізуються нові системи, елементи та антени найбільших в світі українських радіотелескопів декаметрових довжин хвиль УТР-2, УРАН-1, УРАН-4 (Радіоастрономічний інститут НАН України); УРАН-2 (Полтавська гравіметрична обсерваторія Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України); УРАН-3 (Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України). Радіотелескоп нового покоління ГУРТ, що створюється поблизу УТР-2 в Радіоастрономічній обсерваторії ім. С. Я. Брауде, значно розширює смугу частот спостережень (раніше вона складала $8 \div 32$ МГц, а зараз $8 \div 80$ МГц) [4, 5] (рис. 2–7). Таким чином, сучасна низькочастотна радіоастрономія в Україні охоплює не лише декаметровий, а й метровий діапазон хвиль. Разом зі створенням декількох поколінь аналогової та цифрової приймально-реєструючої апаратури [6] (рис. 8) і нової експериментальної методології [7–9] (рис. 9–18) забезпечено найкраще в світі поєднання головних спостережних параметрів унікальної вітчизняної експериментальної бази – чутливості, роздільної здатності, завадостійкості, широкосмуговості, ефективності та багатфункціональності. Забезпечено існування та сталий розвиток експериментальних засобів, реалізоване їх безперервне довготривале (понад 40 років) щоденне ефективне функціонування. В табл. 1 наведено головні параметри вітчизняної радіоастрономічної експериментальної бази.

3.2. Сонячна система

Задетектовано нові особливості (включаючи тонкі частотно-часові структури) та типи низькочастотного спорадичного радіовипромінювання Сонця,

Таблиця 1. Основні параметри українських декаметрових радіотелескопів

Радіотелескоп; належність; координати (широта/довгота)	Частотний діапазон, МГц	Розмір, м; максимальна ефективна площа, м ²	Кількість елементів ($l \times m = N$); поляризація	Розмір променя на 25 МГц	Відстань від УТР-2 (LOFAR), км	РНДБ роздільна здатність на 25 МГц (УТР-2 – УРАН)
УТР-2; РІ НАНУ; (49°39'/36°56')	8 ÷ 33	1800×900; 140000	2040; 1 лінійна	0.4°×0.4°	0 (~ 2000)	–
УТР-2 (плече Південь-Північ)	8 ÷ 33	1800×53; 105000	240×6 = 1440; 1 лінійна	0.3°×12°	0 (~ 2000)	–
УТР-2 (плече Захід)	8 ÷ 33	900×45; 40000	6×100 = 600; 1 лінійна	0.6°×12°	0 (~ 2000)	–
УРАН-1; РІ НАНУ; (49°39'/36°56')	8 ÷ 33	200×29; 5500	4×24 = 96; 2 лінійні	5°×30°	42 (~ 1950)	59"
УРАН-2; ПГО НАНУ; (49°38'/34°50')	8 ÷ 33	238×116; 28000	16×32 = 512; 2 лінійні	3.5°×7.5°	150 (~ 1850)	16"
УРАН-3; ФМІ НАНУ; (51°29'/23°50')	8 ÷ 33	238×58; 14000	8×32 = 256; 2 лінійні	3.5°×15°	946 (~ 1100)	2.6"
УРАН-4; РІ НАНУ; (46°24'/30°16')	8 ÷ 33	238×29; 7000	4×32 = 128; 2 лінійні	3.5°×30°	613 (~ 1500)	4"
ГУРТ (одна субрешітка); РІ НАНУ; (49°39'/36°56')	8 ÷ 80	18×18; 650 (на 10 МГц)	5×5 = 25; 2 лінійні	30°×30°	~ 1 (~ 2000)	–

а також невідоме раніше величезне розмаїття такого випромінювання [10–15] (рис. 19–25). Це дає нову інформацію про фізичні умови у сонячній короні на різних відстанях від поверхні Сонця, а також формує нові підходи до вирішення проблем сонячно-земних зв'язків та космічної погоди. Обґрунтовано та реалізовано нові методи досліджень мерехтінг випромінювання далеких радіоджерел на міжпланетній плазмі, що дозволяє вивчати сонячний вітер навіть поза орбітою Землі [16, 17] (рис. 26–28). Завдяки найкращим параметрам українських радіотелескопів виявлено нові особливості спорадичного радіовипромінювання Юпітера різних частотно-часових та енергетичних масштабів [18, 19] (рис. 29–30). Ці результати дали можливість уточнити моделі генерації L- та S-випромінювання та оптимізувати пошук юпітероподібних екзопланет. Унікальні можливості УТР-2 дозволили також відкрити та детально вивчити новий тип космічного радіовипромінювання – радіосплески, що виникають при електростатичних розрядах

(блискавках) у атмосфері іншої планети-гіганта – Сатурна [20, 21], (рис. 31, 32). Багато досліджень сонячної системи мають також і прикладний характер, зокрема у вивченні Місяця, іоносфери Землі та її поверхні [22, 23].

3.3. Галактика

Побудовано карти нетеплового фонового радіовипромінювання Галактики у діапазоні 10 ÷ 25 МГц з найвищими для декаметрового діапазону чутливістю та роздільною здатністю. Це дозволяє вивчати розподілення та походження електронної компоненти космічних променів, магнітного поля та природу, взаємодію і еволюцію галактичних структур, таких як шпури, емісійні туманності та залишки наднових, включаючи детектування саме на декаметрових хвилях реліктових зон іонізації на периферії останніх [24–26] (рис. 33–36). Відкрито декаметрове радіовипромінювання більше ніж чотирьох десятків пульсарів, з найвищою точністю виміряно їх міру дисперсії, задетек-

товано індивідуальні імпульси, їх багатократна варіація інтенсивності та тонкі часові і поляризаційні особливості [27–30] (рис. 37–39). У діапазоні 10 ÷ 30 МГц виявлено найбільшу у світовій радіоастрономії (десятки секунд) дисперсійну затримку імпульсних сигналів при поширенні у міжзоряному середовищі. Ці результати є важливими для розуміння специфічних процесів у зовнішній магнітосфері пульсарів, а також для діагностики умов і ефектів у неоднорідній, нестационарній та нерівноважній міжзоряній плазмі. У ході повного огляду небесної сфери на УТР-2 з метою пошуку імпульсних сигналів виявлена нова популяція галактичних радіоджерел, що генерують транзйентні (спорадичні) короткочасні сигнали [31] (рис. 40). Відкрито та всебічно вивчено нове астрофізичне явище – монохроматичне низькочастотне поглинання фонового радіовипромінювання при переходах між надвисокими квантовими рівнями міжзоряних атомів. Задетектовано рекордно високі стани збуджених атомів – до головних квантових чисел понад 1000. Розмір таких атомів є гігантським – близько 0.1 мм. Доведено ефективність використання цього екзотичного явища для діагностики холодної космічної плазми та можливість отримання інформації, що є недоступною іншим методам астрофізики [32–34], (рис. 41–44).

3.4. Метагалактика

Створено найбільш повний на декаметрових хвилях каталог позагалактичних радіоджерел північного неба (близько 2300 об'єктів), визначено їх спектри випромінювання з суттєвими низькочастотними варіаціями, координати, розміри, просторове розподілення та виконано ототожнення. Вибірку задетектованих джерел складають радіогалактики, квазари, скупчення галактик, неототоженні об'єкти з такими складовими релятивістськими та реліктовими структурами в них, як гало, джети, гарячі плями, чорні дірки [35, 36] (рис. 45–47). Дослідження дозволили також виявити зменшення просторової щільності розподілу далеких радіоджерел, що відображає епоху їх формування. Вказаний ефект космологічної еволюції найяскравіше проявляється на низьких радіочастотах. На УТР-2 спостерігаються та шукаються космологічні явища, пов'язані з позагалактичним фоном [37] (рис. 47) та зміщеними на низькі частоти спектральними особливостями “темних” віків.

4. Механізми радіовипромінювання астрофізичних об'єктів на низьких частотах

Як бачимо, кількість згаданих вище типів об'єктів, що продуктивно досліджуються методами низькочастотної радіоастрономії в Україні, є дуже великою та несподіваною (понад 30). До них відносяться, зокрема, Сонце, планети, їх супутники, міжпланетне середовище, зірки, міжзоряне середовище, пульсари, залишки наднових, емісійні туманності, радіогалактики, квазари, релятивістські та космологічні явища (табл. 2).

До початку 70-х рр. ніхто не передбачав таку величезну кількість об'єктів, що можуть бути доступними для досліджень методами низькочастотної радіоастрономії, і таку велику кількість астрофізичних відкриттів, яку дав саме цей розділ науки про Всесвіт. Вважалося, що на вкрай низьких частотах у присутності великої кількості завадових факторів можливо спостерігати лише найпотужніші явища (причому тільки у вузькому інтервалі зміни параметрів низькочастотного космічного випромінювання) – Сонце, Юпітер, галактичний фон, найінтенсивніші радіоджерела континууму. Об'єкти зі значно слабкішим радіовипромінюванням та його тонкі просторово-частотно-часові характеристики, вважалося, не можуть спостерігатися як з причини апаратно-методичних обмежень, так і через вплив фізичних ефектів “замивання” випромінювання – просторового, частотного, часового розсіювання, енергетичного поглинання та нівелювання потужним радіофоном Галактики. Але українські радіоастрономи довели зворотнє. Вдалося не тільки спостерігати низькочастотне радіовипромінювання від майже усіх типів відомих об'єктів Всесвіту, але і відкрити принципово нові об'єкти та їх невідомі раніше параметри випромінювання. Більше того, на низьких частотах вдалося задетектувати, а потім пояснити особливості усіх відомих механізмів космічного радіовипромінювання, до яких відносяться нетеплове синхротронне радіовипромінювання, випромінювання при поширенні заряджених частинок та хвиль у магнітно-активній плазмі, теплове радіовипромінювання нагрітої плазми та поглинання цієї плазмою нетеплового фонового випромінювання. Крім того, саме на низьких частотах українським радіоастрономам вдалося відкрити принципово нові механізми

Таблиця 2. Об'єкти, що спостерігаються за допомогою українських радіотелескопів, та успіхи в отриманні нових результатів

Земля, Місяць	Іоносфера	+
	Магнітосфера	~
	Атмосферні зливи космічних променів	+
	Параметри поверхні Місяць:	
	покриття	+
	затемнення	+
	радар	+
	вторинна емісія космічних променів	-
Сонячна система	Сонце:	
	спокійне	+
	активне	+
	радар	-
	Юпітер	+
	Планети (Сатурн)	+
	Міжпланетне середовище:	
	мерехтіння	+
РНДБ	+	
рекомбінаційні лінії	~	
Комети	~	
Галактика	Пульсари	+
	Активні зірки	~
	Екзопланети	-
	Транзієнти	+
	Нетепловий фон	+
	Залишки наднових	+
	Області НП	+
	Міжзоряне середовище (рекомбінаційні лінії)	+
Метагалактика	Метагалактичний фон	+
	Галактики	+
	Радіогалактики	+
	Квасари	+
	Чорні дірки	~
	Скупчення галактик	+
	Неідентифіковані об'єкти	+
	Транзієнти	-

Примітка. Позначка “+” – надійно задетектована велика кількість об'єктів та/або явищ; “~” – є невелика кількість позитивних спостережень, що потребують підтвердження; “-” – позитивних результатів поки немає, пошук продовжується.

радіовипромінювання – сигнали при електростатичних розрядах в атмосферах планет та монохроматичне поглинання фонового нетеплового випромінювання при квантових переходах між рівнями надзбуджених міжзоряних атомів. Непередба-

ченим став також відкритий в Україні величезний діапазон змін параметрів та інформативність низькочастотного континуального, монохроматичного, імпульсного, спорадичного, просторово структурованого, поляризованого космічного радіовипромінювання.

5. Світова низькочастотна радіоастрономія та внесок України в її розвиток

Висока астрофізична значущість низькочастотної радіоастрономії та визнання цього факту світовою науковою спільнотою підштовхнули провідні радіоастрономічні установи поставити задачу створення радіотелескопів нового покоління [3]. У Нідерландах, а також у Франції, Німеччині, Великій Британії, Швеції, Польщі, Ірландії, Латвії створюється система радіотелескопів LOFAR, призначена для спостережень на частотах $(10)30 \div 80$ МГц та $110 \div 240$ МГц. Система LWA в США працює на частотах $20 \div 80$ МГц; MWA в Австралії має діапазон спостережень $50 \div 300$ МГц; SKA-low – $200 \div 1000$ МГц. У Франції будується велика система NenuFAR для спостережень в діапазоні $8 \div 80$ МГц. Її архітектура подібна до архітектури ГУРТ, у створенні беруть участь і українські радіоастрономи. У цих системах, на створення яких вже витрачені мільярди доларів, для забезпечення високої чутливості, роздільної здатності, широкого поля зору та для можливостей картографування використовуються останні досягнення електронних, телекомунікаційних та інформаційних технологій.

Однак українські радіотелескопи УТР-2, УРАН, ГУРТ за головними параметрами залишаються неперевершеними, особливо на частотах менших 30 МГц, які є надзвичайно цінними для астрофізики. Цей факт разом з вітчизняними досягненнями добре відомий та визнаний в усьому світі. Більше того, українські радіотелескопи є незамінними та максимально бажаними у престижних міжнародних дослідженнях, включаючи офіційне приєднання УТР-2, УРАН, ГУРТ до багатоантенних наземних та наземно-космічних мереж низькочастотної радіоастрономії за участю закордонних інструментів NDA, NenuFAR, LOFAR, LWA і космічних місій WIND, STEREO, Cassini, Juno, Solar Orbiter [9, 38]. Радіоастрономи Франції, Австрії, Німеччини, Великої Британії, Ірландії,

Нідерландів, Бельгії, США, Швеції, Японії, Індії охоче і активно співпрацюють з українськими радіоастрономами і навіть часто приїздять до України для спільних досліджень на унікальних українських наукових установках, які входять до реєстру наукових об'єктів Національного надбання країни (рис. 48–50). Закордонні науковці активно вивчають досягнення, науковий доробок та переймають великий досвід у вітчизняних радіоастрономів в астрофізичних дослідженнях і апаратно-методичних розробках [39]. Україна офіційно бере участь у створенні низькочастотного радіотелескопа нового покоління NenuFAR у Франції [40] (рис. 51), в Австрії та Латвії активно розглядаються проекти створення субрешіток ГУРТ, подібні пропозиції розглядають і в інших країнах. Є добрі підстави для подальшої інтеграції нашої країни у європейський та світовий науковий простір.

Нижче наведено фрагменти деяких відгуків про радіоастрономічну діяльність в Україні. Вони надані керівниками всеєвропейського проекту LOFAR.

“Побудова світових низькочастотних радіотелескопів нового покоління базувалася значною мірою на ідеях українських вчених, які створили багато десятків років тому найбільший низькочастотний радіотелескоп, що став попередником усіх сучасних інструментів. Ефективна робота українських вчених щодо використання і модернізації відповідних радіотелескопів протягом останніх сорока років дала можливість виконати величезний обсяг наукових досліджень, що дозволили відкрити спектральні лінії і пульсари (включаючи індивідуальні імпульси) на цих дуже низьких частотах; вивчити позагалактичні явища, такі як квазари і активні галактичні ядра, радіотранзєнти, радіовипромінювання планет та багато іншого. Таким чином, радіотелескоп УТР-2 був головним у відкритті абсолютно нового вікна у Всесвіт, а наукове відродження відповідних дуже низькочастотних спостережень було видатним.”

4 березня 2016 р. проф. М. А. Гарретт (генеральний директор і науковий директор Нідерландського інституту Радіоастрономії ASTRON, Нідерланди)

“У цій визначній галузі астрономії харківська команда була піонером та лідером досліджень протягом 40 років. Вражає, що вони не тільки впровадили нові технічні підходи задля вирішення

існуючих проблем, але і забезпечили отримання величезної кількості важливих наукових результатів.”

31 травня 2018 р. проф. Х. Ротгерінг (директор Обсерваторії Лейдена, керівник оглядових проектів на LOFAR, Нідерланди)

“Харківська школа декаметрової радіоастрономії створила технічні розробки вищого рівня та досягла вищих наукових результатів, які суттєво вплинули на нові покоління науковців та розповсюдили наукові та технічні результати широкій науковій спільноті. <...> Українські радіоастрономи передбачили актуальність роботи у цій області багато десятиліть тому та винахідливо, досвідчено і наполегливо розробили декілька головних радіоастрономічних систем ранішніх поколінь. Це заслуговує вищого визнання.”

27 червня 2018 р. проф. Р. С. Вермеулен (директор Міжнародного радіотелескопу LOFAR (ILT), директор Офісу європейського радіообладнання, Нідерланди)

6. Наукометричні показники вітчизняних досліджень та висновки

Коротко підсумовуючи вищевикладене, можна відзначити, що якби не перераховані вище результати, досягнення та відкриття в низькочастотній радіоастрономії, що головним чином виконані в Україні, уявлення про Всесвіт були б абсолютно іншими. Багато дуже цікавих і важливих об'єктів і явищ були б невідомими людству, тобто наші знання про оточуючий світ були б вкрай неповними. Є вагомні підстави вважати, що подальший розвиток низькочастотної радіоастрономії в Україні і в світі значно збагатить ці знання.

Із загальної кількості публікацій співавторів, що є понад півтисячі, до циклу праць включено 129 наукових статей (у цьому огляді відібрано 40 публікацій), які найповніше відображають напрямки та результати досліджень, а також особистий внесок усіх співавторів. У міжнародних журналах надруковано 83 з цих статей. Усі статті опубліковані у відомих журналах з найвищим імпаکت-фактором: *Astrophysical Journal*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, *Astronomy and Astrophysics*, *Solar Physics*, *Astrophysics and Space Sciences*, *Planetary and Space Sciences*, *Icarus*, *Experimental Astronomy*, *Journal of the Astronomical Instrumentation*, *International Journal of Electronics*,

Astronomische Nachrichten, Advances in Space Research, Astronomy Reports, “Письма в Астрономический журнал”, “Кінематика і фізика небесних тіл”, “Радіофізика і радіоастрономія”.

Загальна кількість посилок на публікації авторів згідно баз даних Scopus та Google Scholar становить 1335 та 3242 відповідно; загальний h-індекс становить відповідно 19 та 28. За результатами досліджень у галузі низькочастотної радіоастрономії в Україні захищено 9 докторських та 42 кандидатські дисертації. Присудження Державної премії України в галузі науки і техніки в 2018 р. підтверджує високий рівень і хороші перспективи вітчизняних та міжнародних низькочастотних радіоастрономічних досліджень.

Як відомо, згідно до чинних правил Комітету з Державних премій в галузі науки і техніки максимальна кількість співавторів поданої роботи складає 8 осіб. Автори представленого циклу праць зробили найбільший внесок у дослідження і відібрані відповідно до системи простих і справедливих критеріїв, які повністю підтримані Радіоастрономічним семінаром та Вченою радою Радіоастрономічного інституту НАН України. Однак загальна кількість вітчизняних дослідників та закордонних фахівців, що співпрацювали у цій галузі та зробили суттєвий науковий внесок, перевищує 100 осіб. Усім їм автори представленого циклу праць висловлюють щире подяку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Коноваленко А. А. Перспективы низкочастотной радиоастрономии. *Радіофізика і радіоастрономія*. 2005. Т. 10, спец. вып. С. S86–S114.
2. Lecacheux A., Konovalenko A. A., and Rucker H. O. Using large radio telescopes at decimeter wavelength. *Planet. Space Sci.* 2004. Vol. 52, Is. 15. P. 1357–1374. DOI: 10.1016/j.pss.2004.09.006
3. Konovalenko A. A., Rucker H. O., Lecacheux A., Mel'nik V. N., Falkovich I. S., Kalinichenko N. N., Olyak M. R., Megn A. V., Rashkovskij S. L., Shepelev V. A., Stepkin S. V., Muha D. V., Sidorchuk M. A., Ul'yanov O. M., Thide B., Tokarev Yu V., Karashtin A. N., Koshevoj V. V., Lozynskij A. B., and Brazhenko A. I. Utilizing existing decimeter radio telescopes as pathfinders towards LOFAR-LWA-LOIS science and technology. In: H. O. Rucker, W. S. Kurth, and G. Mann, eds. *Planetary Radio Emissions VI, Proceedings of the 6th International Workshop*. Vienna, Austria, April 20-22, 2005. Vienna: Austrian Academy of Sciences Press, 2006. P. 507–518.
4. Konovalenko A., Sodin L., Zakharenko V., Zarka P., Ulyanov O., Sidorchuk M., Stepkin S., Tokarsky P., Melnik V., Kalinichenko N., Stanislavsky A., Koliadin V., Shepelev V., Dorovskyy V., Ryabov V., Koval A., Bubnov I., Yerin S., Gridin A., Kulishenko V., Reznichenko A., Bortsov V., Lisachenko V., Reznik A., Kvasov G., Mukha D., Litvinenko G., Khristenko A., Shevchenko V. V., Shevchenko V. A., Belov A., Rudavin E., Vasyliieva I., Miroschnichenko A., Vasilenko N., Olyak M., Mylostna K., Skoryk A., Shevtsova A., Plakhov M., Kravtsov I., Volvach Y., Lytvinenko O., Shevchuk N., Zhouk I., Bovkun V., Antonov A., Vavriv D., Vinogradov V., Kozhin R., Kravtsov A., Bulakh E., Kuzin A., Vasilyev A., Brazhenko A., Vashchishin R., Pylaev O., Koshovyy V., Lozinsky A., Ivantyshin O., Rucker H. O., Panchenko M., Fischer G., Lecacheux A., Denis L., Coffre A., Griebmeier J.-M., Tagger M., Girard J., Charrier D., Briand C., and Mann G. The modern radio astronomy network in Ukraine: UTR-2, URAN and GURT. *Exp. Astron.* 2016. Vol. 42, Is. 1. P. 11–48. DOI: 10.1007/s10686-016-9498-x
5. Коноваленко А. А., Ерин С. Н., Бубнов И. Н., Токарский П. Л., Захаренко В. В., Ульянов О. М., Сидорчук М. А., Степкин С. В., Гридин А. А., Квасов Г. В., Колядин В. Л., Мельник В. Н., Доровский В. В., Калинин Н. Н., Литвиненко Г. В., Зарка Ф., Дени Л., Жирар Ж., Рукер Х. О., Панченко М., Станиславский А. А., Христенко А. Д., Муха Д. В., Резниченко А. М., Лисаченко В. М., Борцов В. В., Браженко А. И., Васильева Я. Ю., Скорик А. А., Шевцова А. И., Милостная К. Ю. Астрофизические исследования с помощью малоразмерных низкочастотных радиотелескопов нового поколения. *Радіофізика і радіоастрономія*. 2016. Т. 21, № 2. С. 83–131. DOI: 10.15407/rpra21.02.083
6. Zakharenko V., Konovalenko A., Zarka P., Ulyanov O., Sidorchuk M., Stepkin S., Koliadin V., Kalinichenko N., Stanislavsky A., Dorovskyy V., Shepelev V., Bubnov I., Yerin S., Melnik V., Koval A., Shevchuk N., Vasyliieva I., Mylostna K., Shevtsova A., Skoryk A., Kravtsov I., Volvach Y., Plakhov M., Vasilenko N., Vasylykivskiy Y., Vavriv D., Vinogradov V., Kozhin R., Kravtsov A., Bulakh E., Kuzin A., Vasilyev A., Ryabov V., Reznichenko A., Bortsov V., Lisachenko V., Kvasov G., Mukha D., Litvinenko G., Brazhenko A., Vashchishin R., Pylaev O., Koshovyy V., Lozinsky A., Ivantyshyn O., Rucker H. O., Panchenko M., Fischer G., Lecacheux A., Denis L., Coffre A., and Griebmeier J.-M. Digital Receivers for Low-Frequency Radio Telescopes UTR-2, URAN, GURT. *J. Astron. Instrum.* 2016. Vol. 5, Is. 4. id. 1641010. DOI: 10.1142/S2251171716410105
7. Konovalenko A. A., Falkovich I. S., Rucker H. O., Lecacheux A., Zarka P., Koliadin V. L., Zakharenko V. V., Stanislavsky A. A., Melnik V. N., Litvinenko G. V., Gridin A. A., Bubnov I. N., Kalinichenko N. N., Reznik A. P., Sidorchuk M. A., Stepkin S. V., Mukha D. V., Nikolajenko V. S., Karlsson R., and Thide B. New antennas and methods for the low frequency stellar and planetary radio astronomy. In: H. O. Rucker, W. S. Kurth, P. Louarn, and G. Fischer, eds. *Planetary Radio Emissions VII, Proceedings of the 7th International Workshop*. Vienna, Austria, September 15-17, 2010. Vienna: Austrian Academy of Sciences Press, 2011. P. 521–531.
8. Zarka P., Farrell W., Fischer G., and Konovalenko A. Ground-based and space-based radio observations of pla-

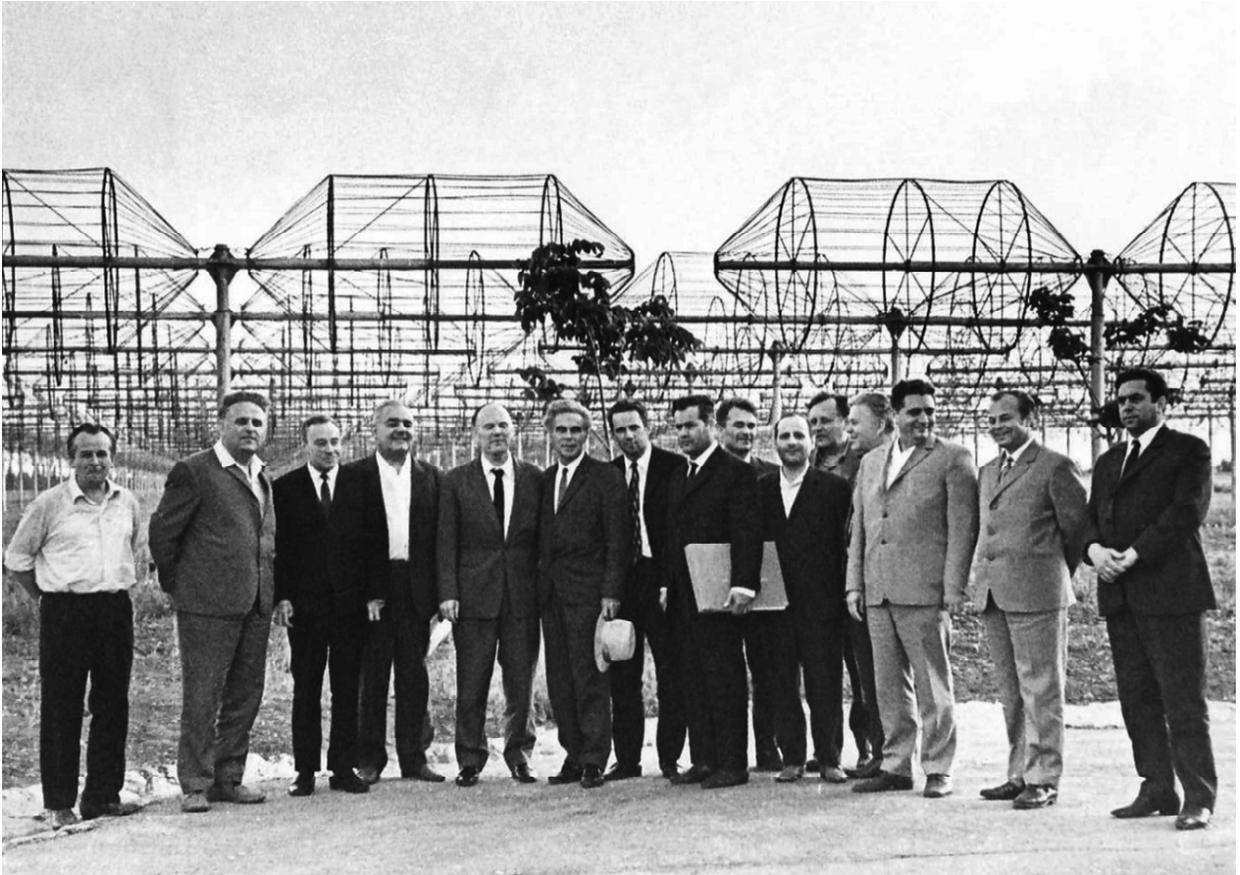


Рис. 1. Президент НАН України Борис Євгенович Патон (п'ятий зліва) і академік НАН України Семен Якович Брауде (четвертий зліва) під час виїзного засідання Бюро Президії НАН України в обсерваторії УТР-2 (червень 1971 р.)



Рис. 2. Радіотелескоп УТР-2, антена Північ–Південь



Рис. 3. Радіотелескоп УТР-2, антена Схід–Захід. День осіннього рівнодення



Рис. 4. Радіотелескопи (зліва направо та зверху вниз) УРАН-1 (Зміїв), УРАН-2 (Полтава), УРАН-3 (Львів), УРАН-4 (Одеса)

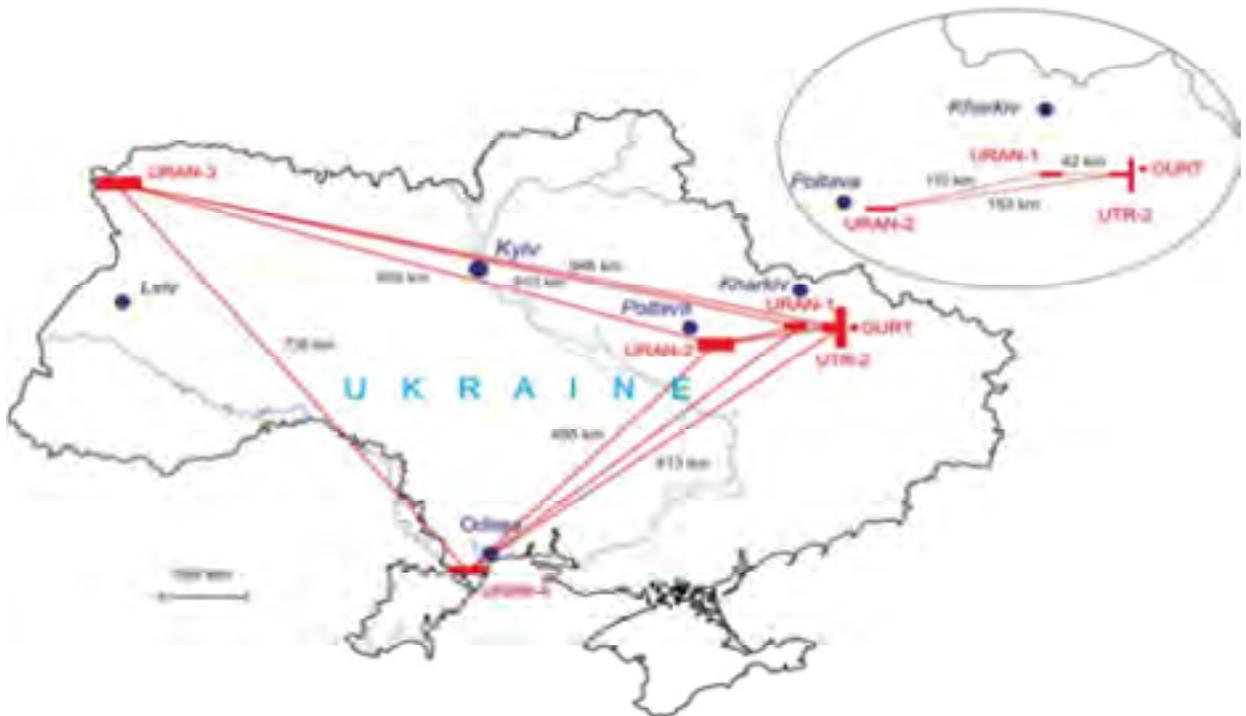


Рис. 5. Місця розташування вітчизняних радіотелескопів на мапі України



Рис. 6. Радіотелескоп нового покоління ГУРТ

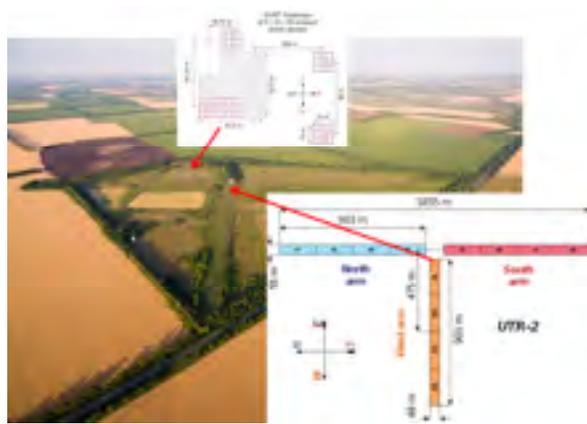


Рис. 7. Розташування радіотелескопів УТР-2 та ГУРТ (Гігантський Український Радіотелескоп) в Радіоастрономічній обсерваторії ім. С. Я. Брауде



СИСТЕМНІ ПАРАМЕТРИ ТА РЕЖИМИ	СТАРІ	НОВІ
Антенa		
Частотний діапазон	10 ÷ 25 МГц	8 ÷ 32(40) МГц
Частотна смуга	6 × 1 МГц = 6 МГц	24(32) МГц
Калібрування, реєстрація, управління, апаратне та програмне забезпечення	~	висока ефективність
Апаратура реєстрації		
Кількість каналів	5 променів × 12 прийм. = 60 кан.	5 × 2 × 8192 = 81920 кан.
Частотна смуга	10 кГц × 60 = 600 кГц	24(32) МГц
Часова роздільна здатність	20 мс	0.25 мс (до 1 мкс)
Частотна роздільна здатність	10 кГц	4 кГц (до 0.1 кГц)
Динамічний діапазон	40 дБ	90 дБ
Чутливість	10 Ян	10 мЯн
Режими вимірювання	Спектри потужності; післядетекторна реєстрація	Спектри потужності; комплексні крос-спектри; перетворення Фур'є в реальному часі; реєстрація хвильових сигналів (Wave Form)

Рис. 8. Старий та новий апаратні зали УТР-2 з новими радіоастрономічними приймачами, системами реєстрації та відображення інформації. Кількість каналів, сумарна смуга та динамічний діапазон для нової системи становлять 81920 каналів, 5 × 24 МГц та 90 дБ, тоді як стара мала 60 каналів, 5 × 120 кГц та 40 дБ, відповідно

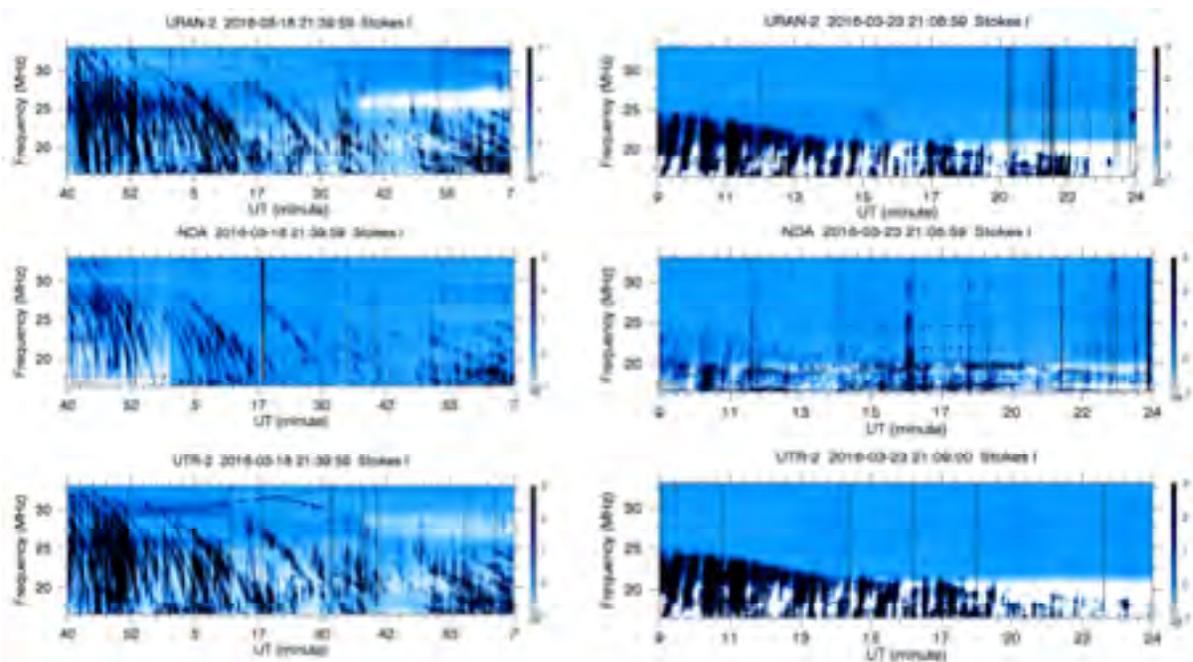


Рис. 9. Синхронні спостереження (“багатоантенна синергія”) радіовипромінювання Юпітера радіотелескопами УТР-2, УРАН-2 та NDA (Нансе, Франція). Цей метод досліджень значно покращує ефективність, надійність спостережень та можливості ідентифікації корисних радіосигналів на тлі різноманітних завад природного та штучного походження



Рис. 10. Розташування в Європі низькочастотних радіотелескопів, які використовуються в координуваних синхронних спостереженнях

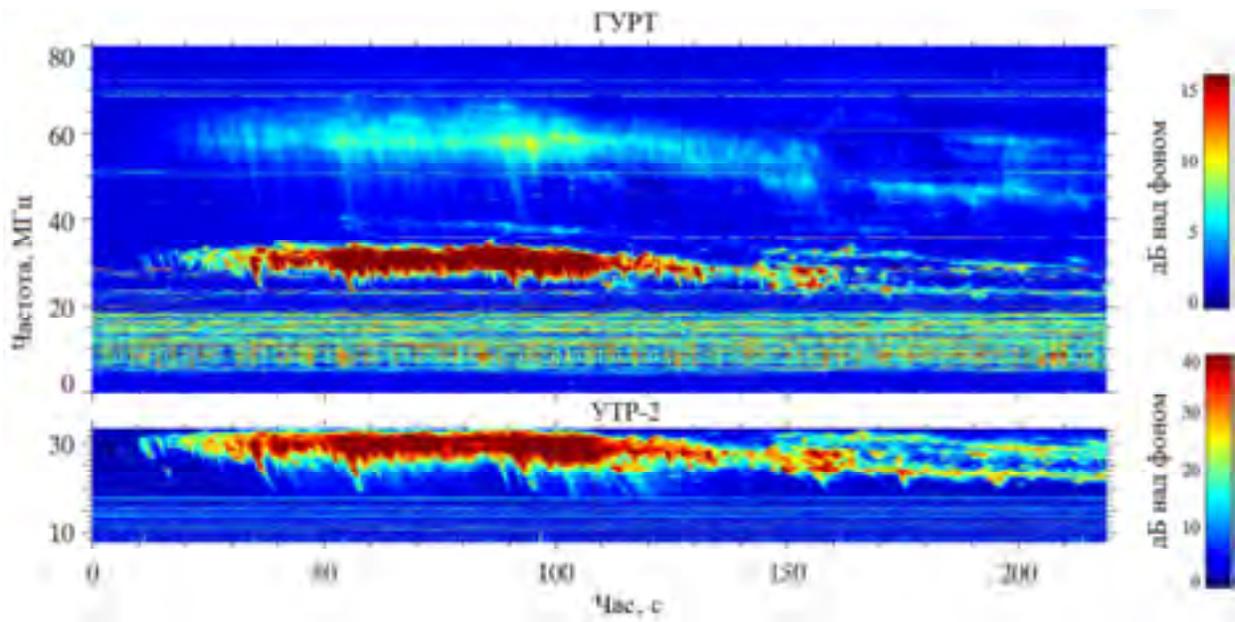


Рис. 11. Одночасні спостереження радіотелескопами УТР-2 та ГУРТ сонячного сплеску II типу. Спостереження на ГУРТ, виконані к. ф.-м. н. І. М. Бубновим та м. н. с. С. М. Єріним

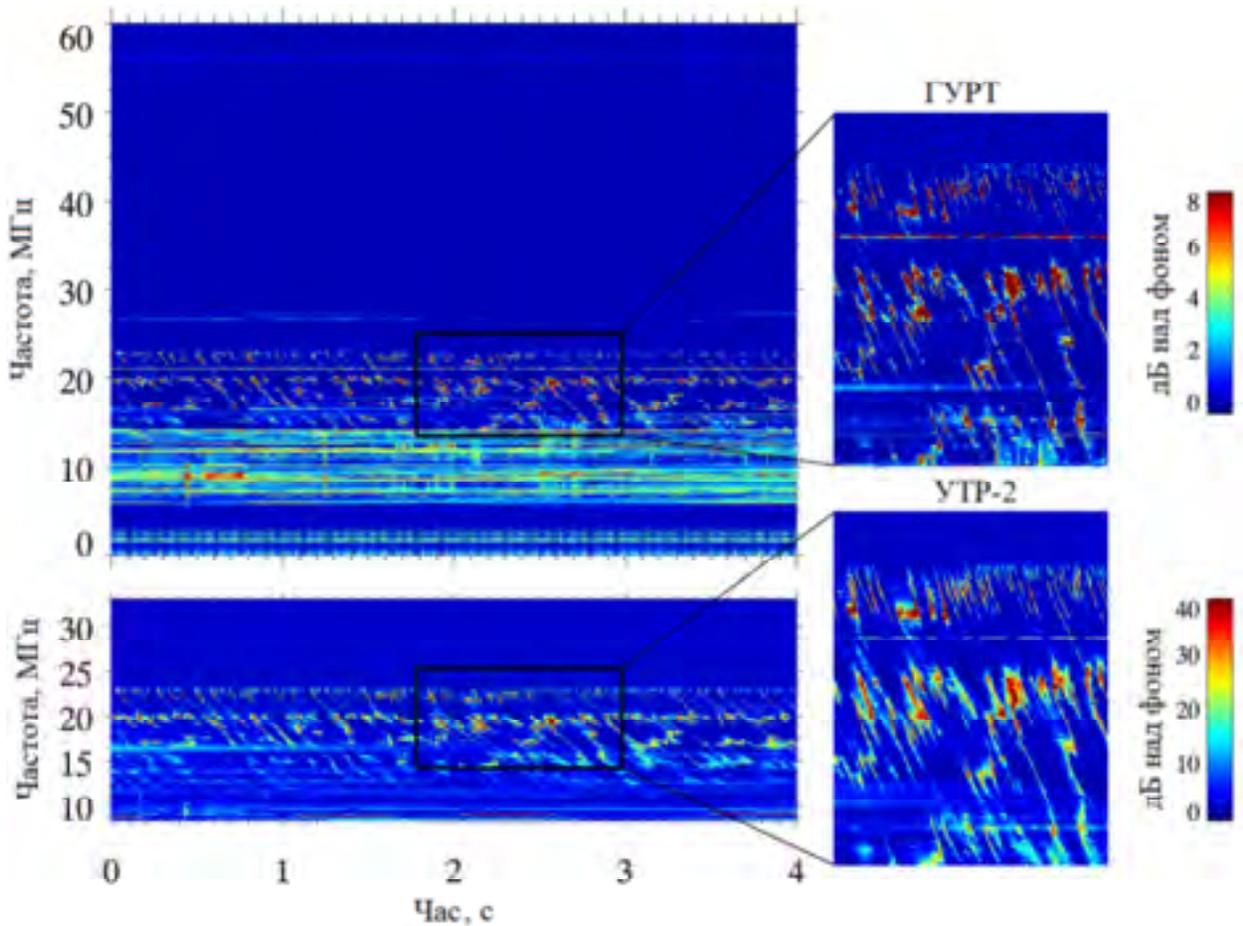


Рис. 12. Одночасні спостереження S-випромінювання Юпітера радіотелескопами УТР-2 та ГУРТ

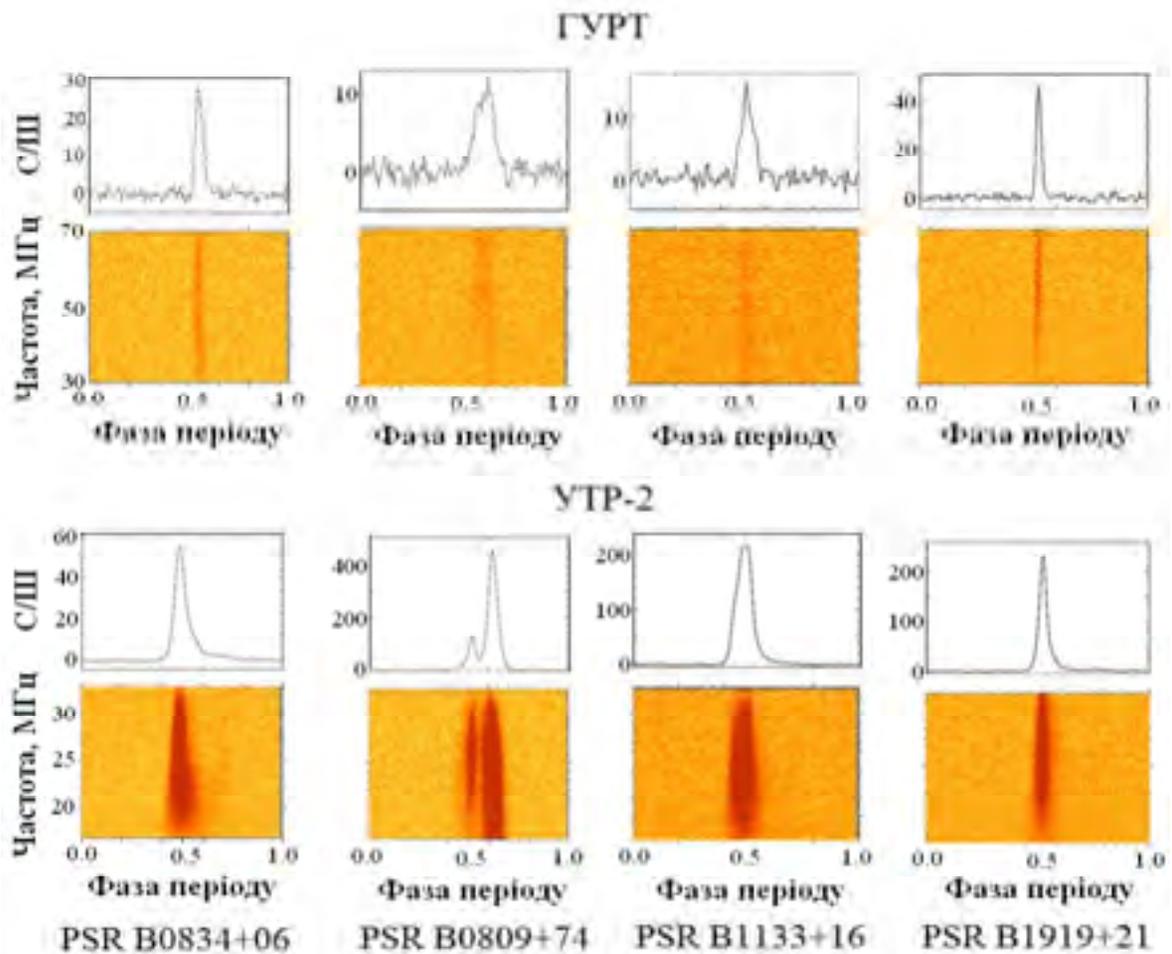


Рис. 13. Одночасні спостереження пульсарів на радіотелескопах УТР-2 та ГУРТ як ілюстрація ефективності астрофізичних досліджень за допомогою малорозмірних радіотелескопів нового покоління

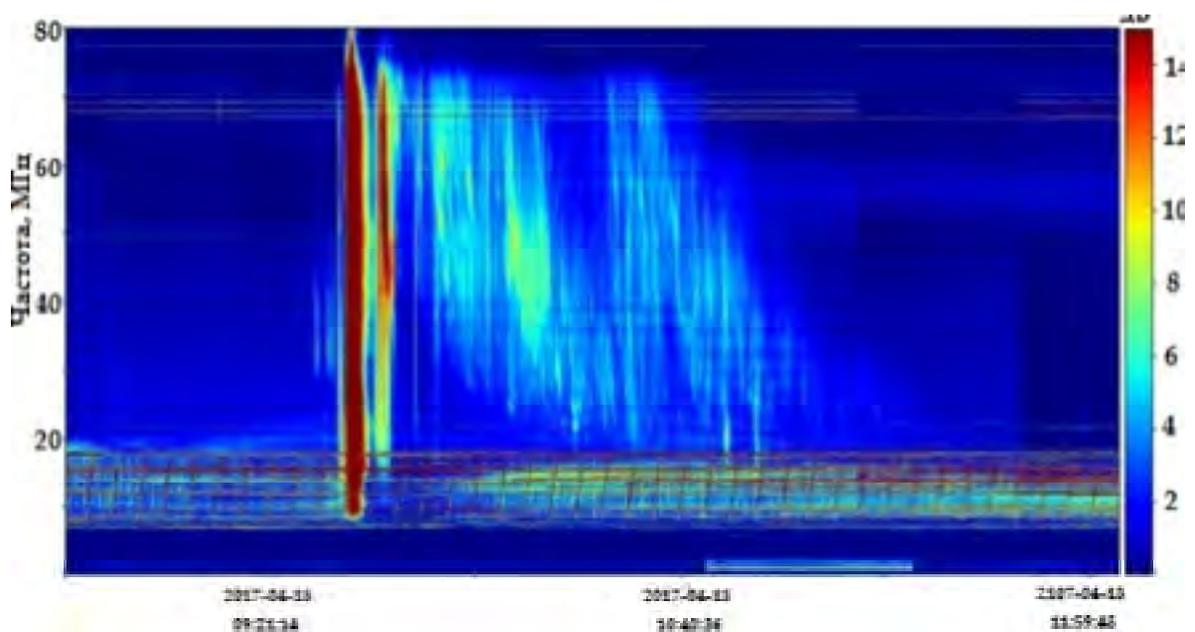


Рис. 14. Сонячний сплеск IV типу, спостережений 18 квітня 2017 р. (секція ГУРТ)

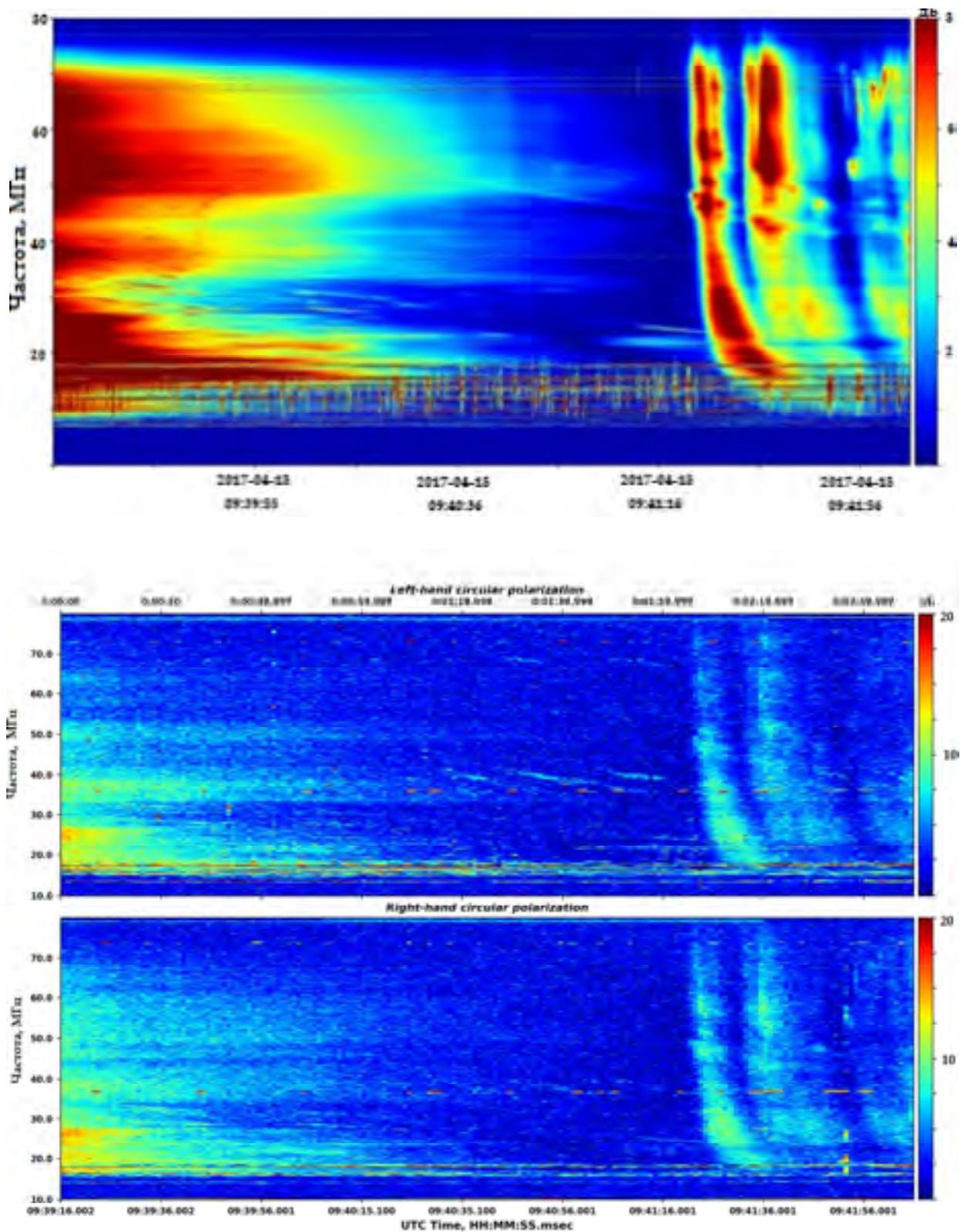


Рис. 15. Фрагмент запису сплеску IV типу, що спостерігався з 9:39 до 9:42 UTC на радіотелескопах ГУРТ (верхня панель) та NDA (Нансе, Франція, дві нижні панелі). Значно вища чутливість ГУРТ зумовлена більшою ефективністю антенного елемента, меншими власними шумами секції та наявністю приймача-спектроаналізатора паралельного типу [6]

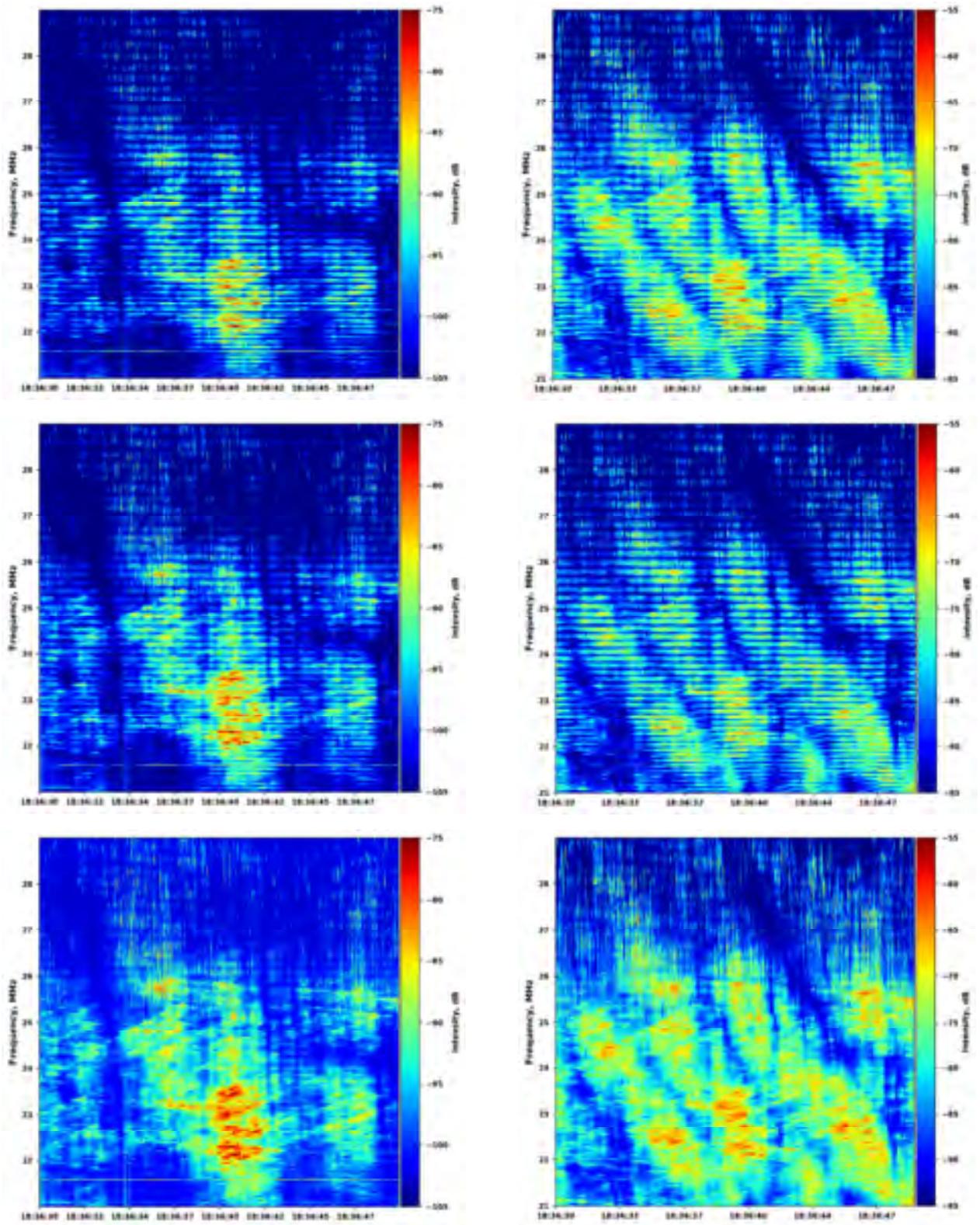


Рис. 16. Одночасні спостереження Юпітера за допомогою 25-елементної субрешетки ГУРТ (лівий стовпець) і радіотелескопа УРАН-2 (правий стовпець). Сигнали двох лінійних поляризацій (показані в перших двох рядках) високополяризованого випромінювання модульовані завдяки ефекту Фарадея. Модуляція суми поляризацій (третій рядок) майже відсутня. Експеримент виконано у ході офіційної наземної підтримки космічної міжнародної місії Juno

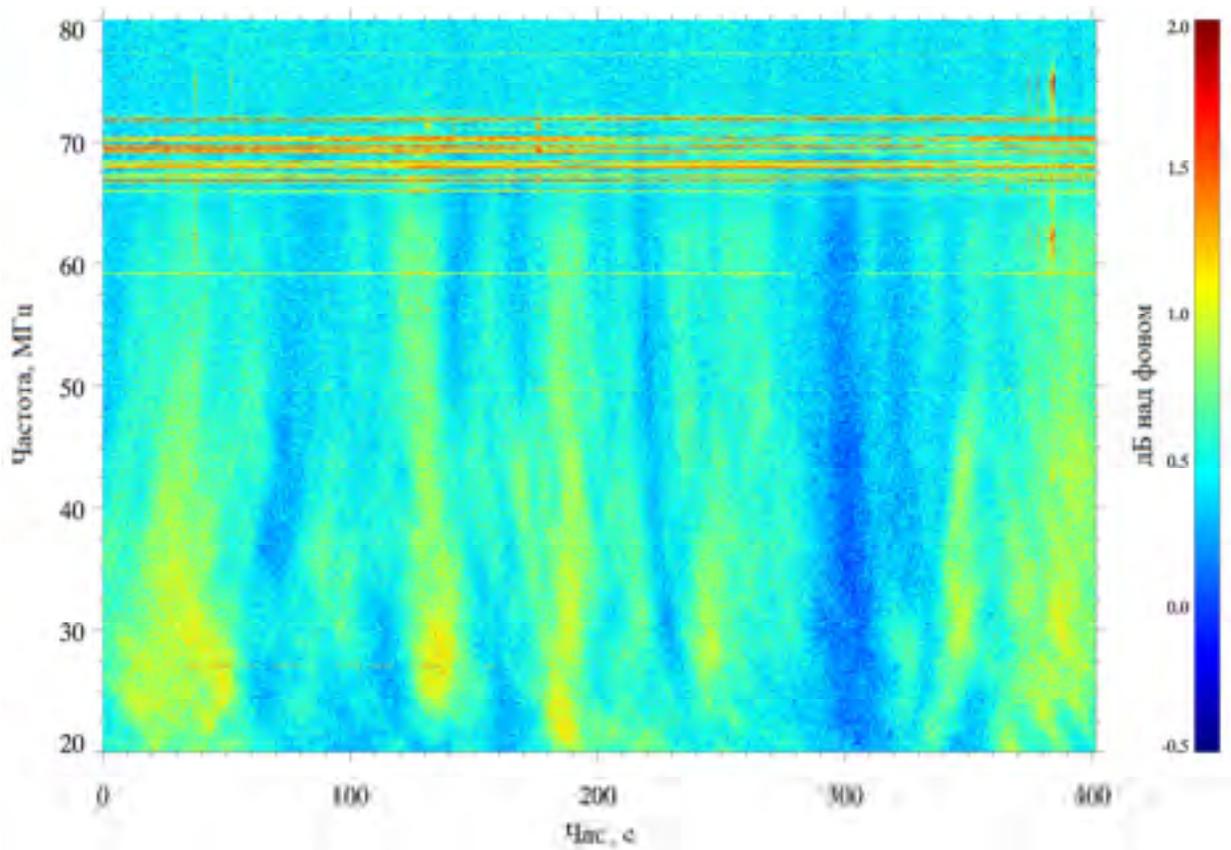


Рис. 17. Іоносферні мерехтіння в напрямку джерела Кассіопея А, які вдалося зареєструвати малорозмірною (25 елементів) субрешіткою ГУРТ



Рис. 18. Ілюстрація переваг сучасної низькочастотної наземно-космічної радіоастрономії з координуваним використанням найбільших наземних радіотелескопів та інструментів космічних місій

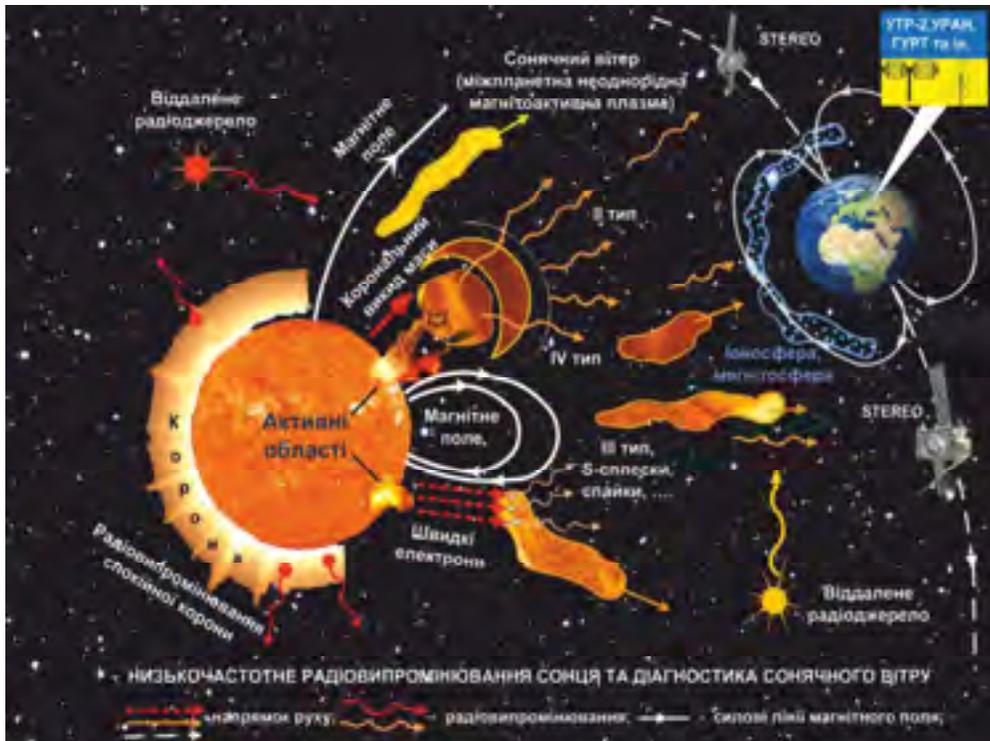


Рис. 19. Дослідження Сонця і міжпланетного середовища за допомогою радіотелескопів УТР-2, УРАН, ГУРТ і космічної місії STEREO

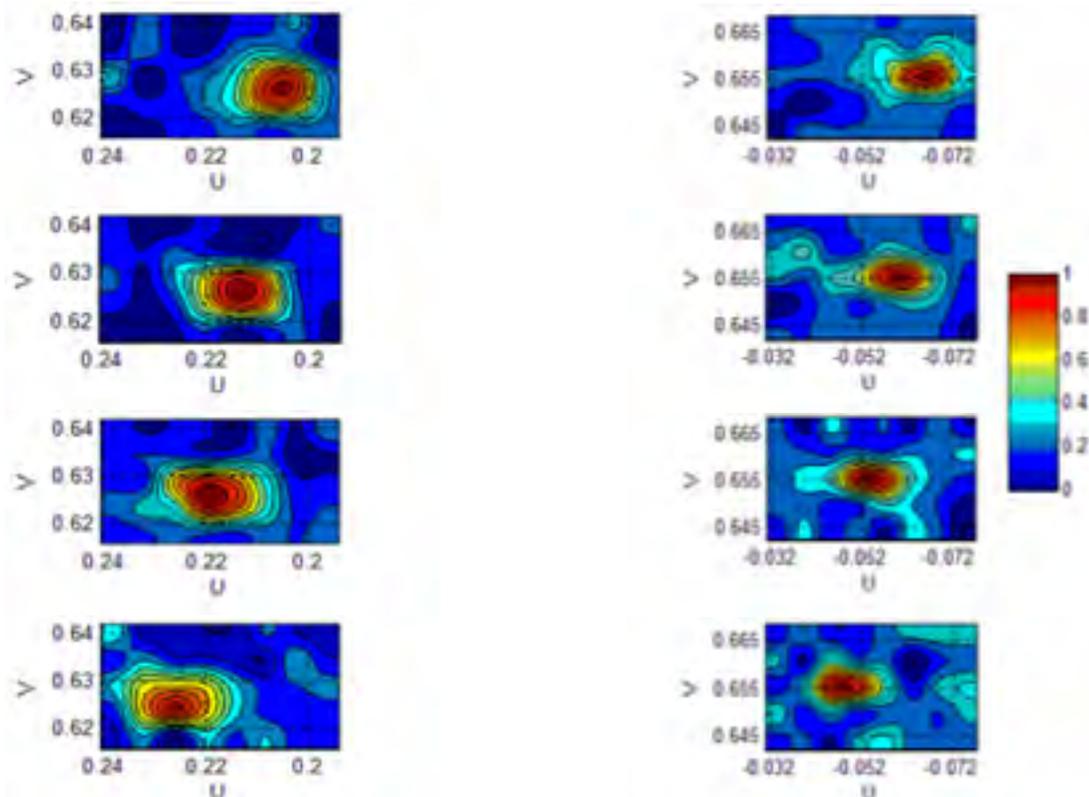


Рис. 20. Приклади радіокарт розподілу яскравості корони Сонця на частоті 20 МГц (ліва колонка), записані 29 серпня 2010 р. близько 10:00 UTC на частоті 26 МГц (права колонка) та отримані 31 серпня 2010 р. близько 09:12 UTC. Чотири кадри (див. зверху вниз) на кожній частоті відповідають зміні положення Сонця через рух небесної сфери (добове обертання Землі). Інтенсивність нормована до одиниці

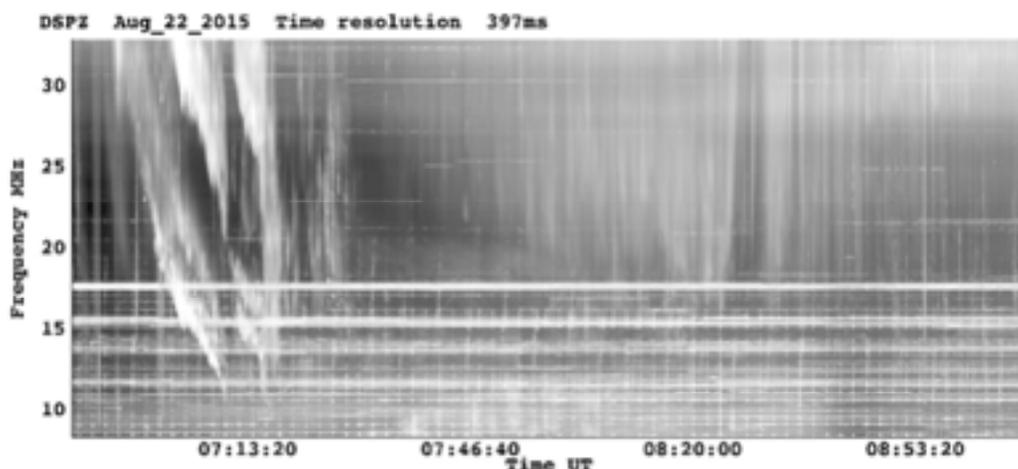


Рис. 21. Декаметрові сплески II типу (7:10–7:14 UT), сплески III типу (7:20 UT), сплеск IV типу (7:40–9:10 UT) та сплески в поглинанні (8:30 UT), що вперше зареєстровані на УТР-2. Ці сплески прослідковуються до найнижчих частот, попри суттєві різноманітні завади на частотах $8 \div 15$ МГц

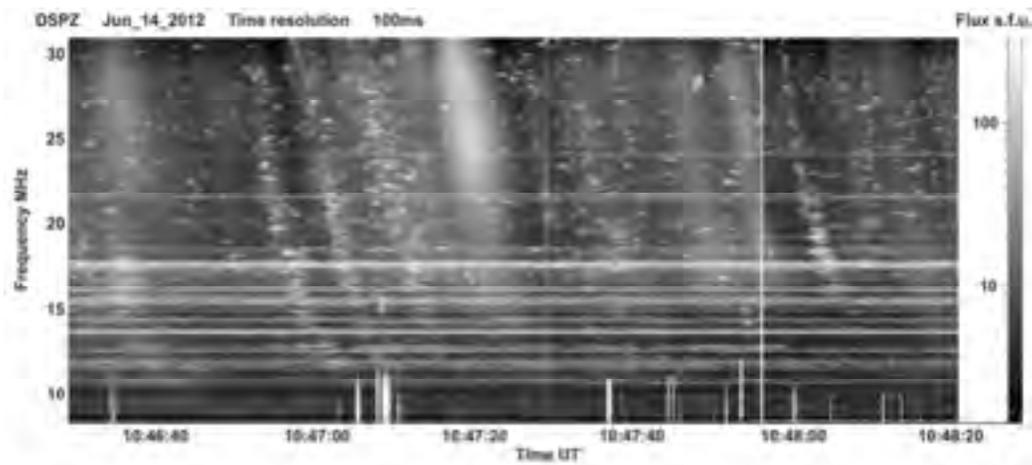


Рис. 22. Тонкоструктурні сплески-спайки (хаотично розташовані на динамічному спектрі) та сплески IIIb типу (10:46:55, 10:47:00, 10:48:00 UT), що спостерігались, завдячуючи високим частотно-часовій (4 кГц та 10 мс) роздільній здатності та чутливості радіотелескопу УТР-2

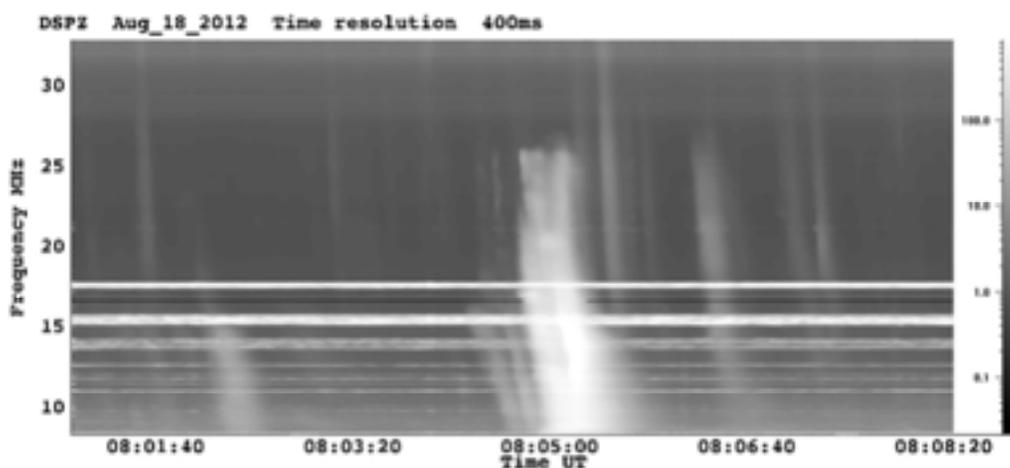


Рис. 23. Незвичайні сплески з високочастотною обрізкою (08:02:00, 08:04:40 та 08:05:00 UT), що спостерігались до найнижчих декаметрових частот

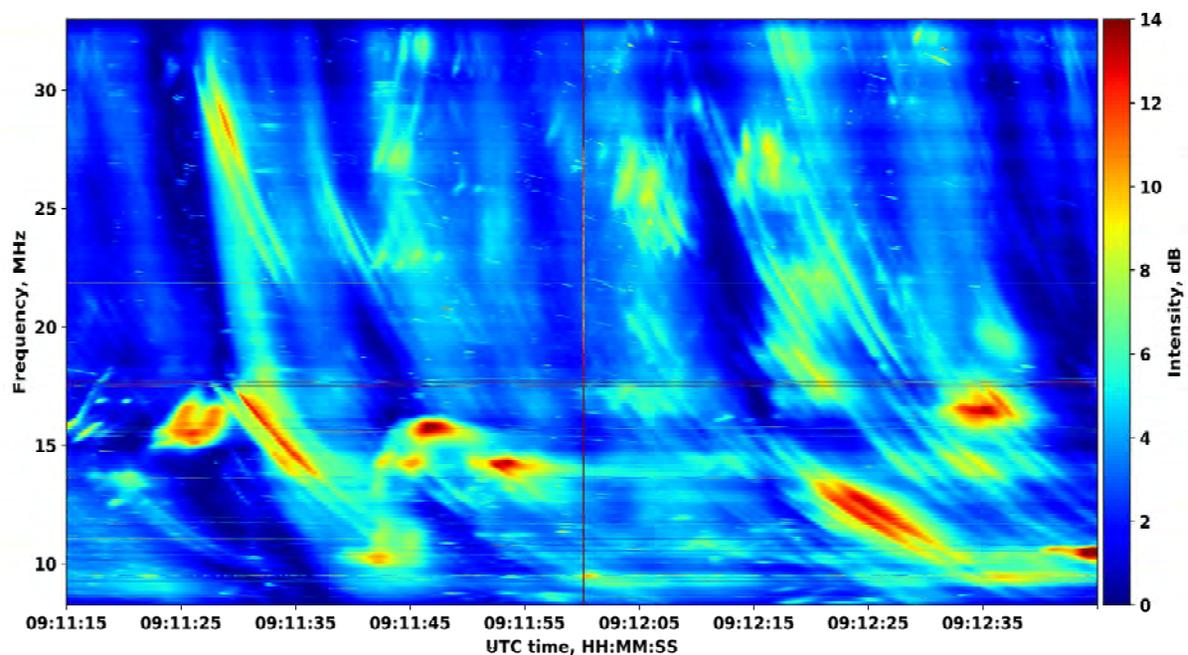


Рис. 24. Виявлення дрейфуючих пар сонячного радіовипромінювання 12 липня 2017 р.

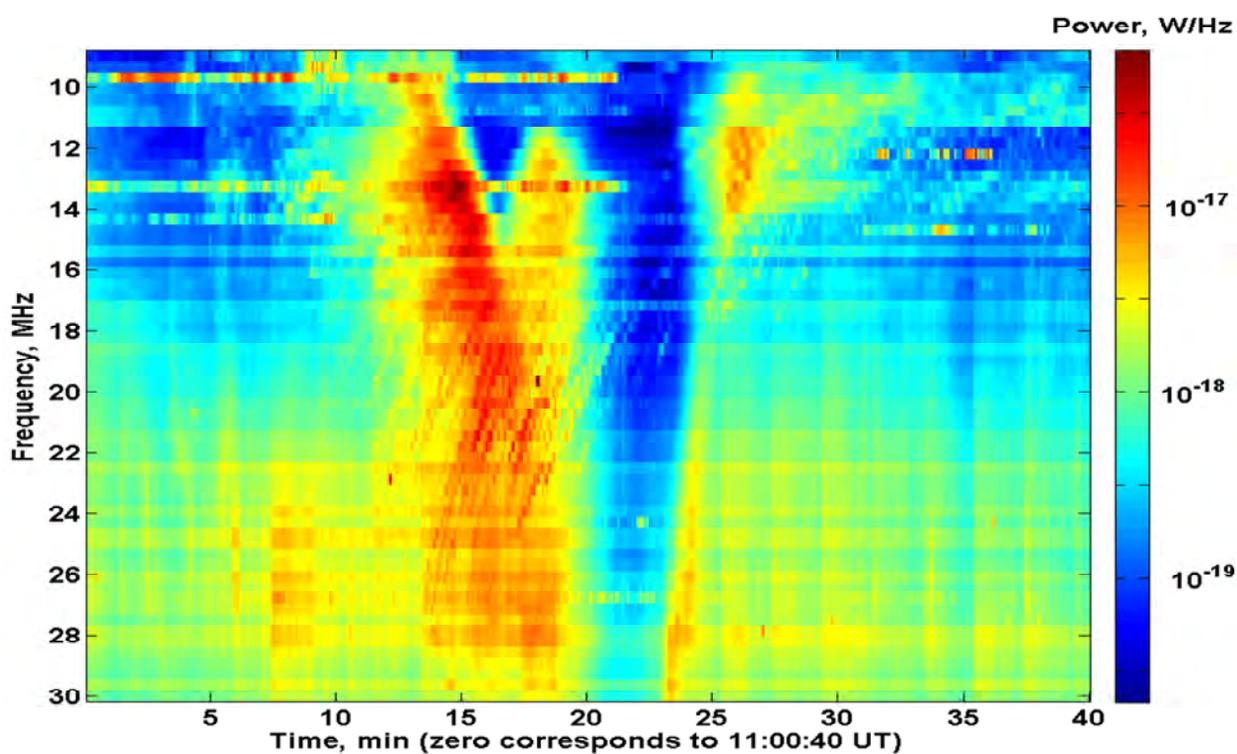


Рис. 25. Довготривалий сплеск у поглинанні в широкій смузі частот $9 \div 30$ МГц на фоні сплеску IV типу

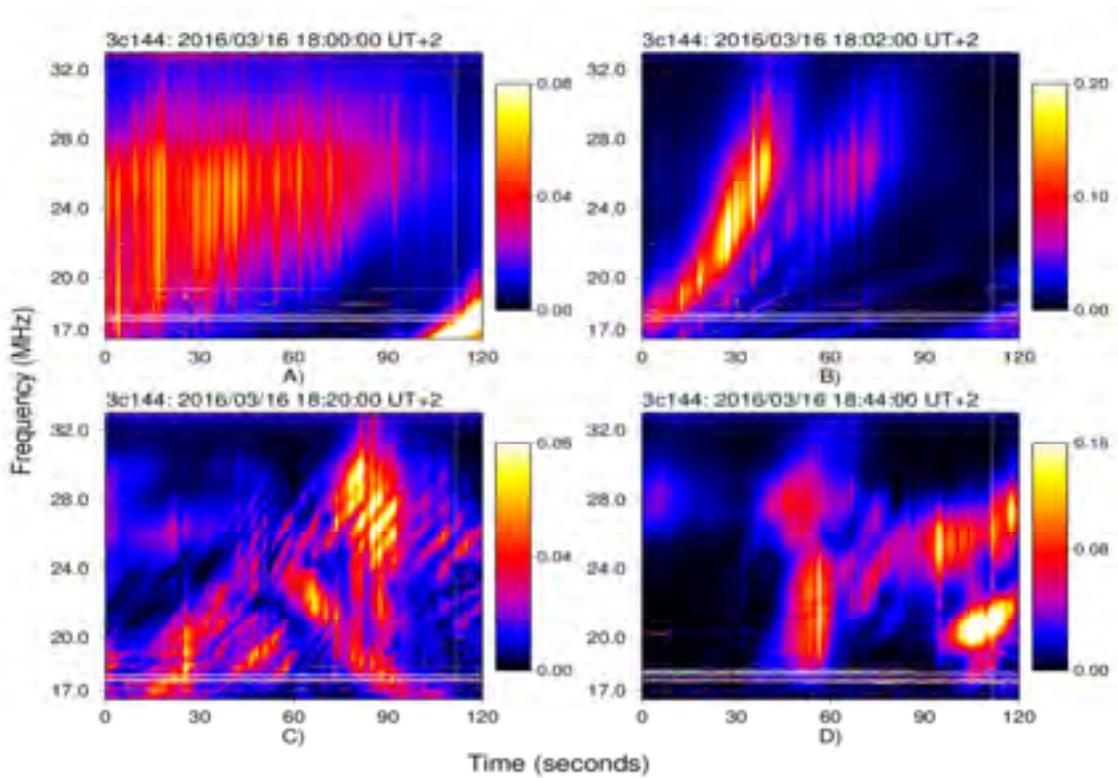


Рис. 26. Міжпланетні та іоносферні мерехтіння (спостереження радіоджерела 3C144 на радіотелескопі УТР-2)

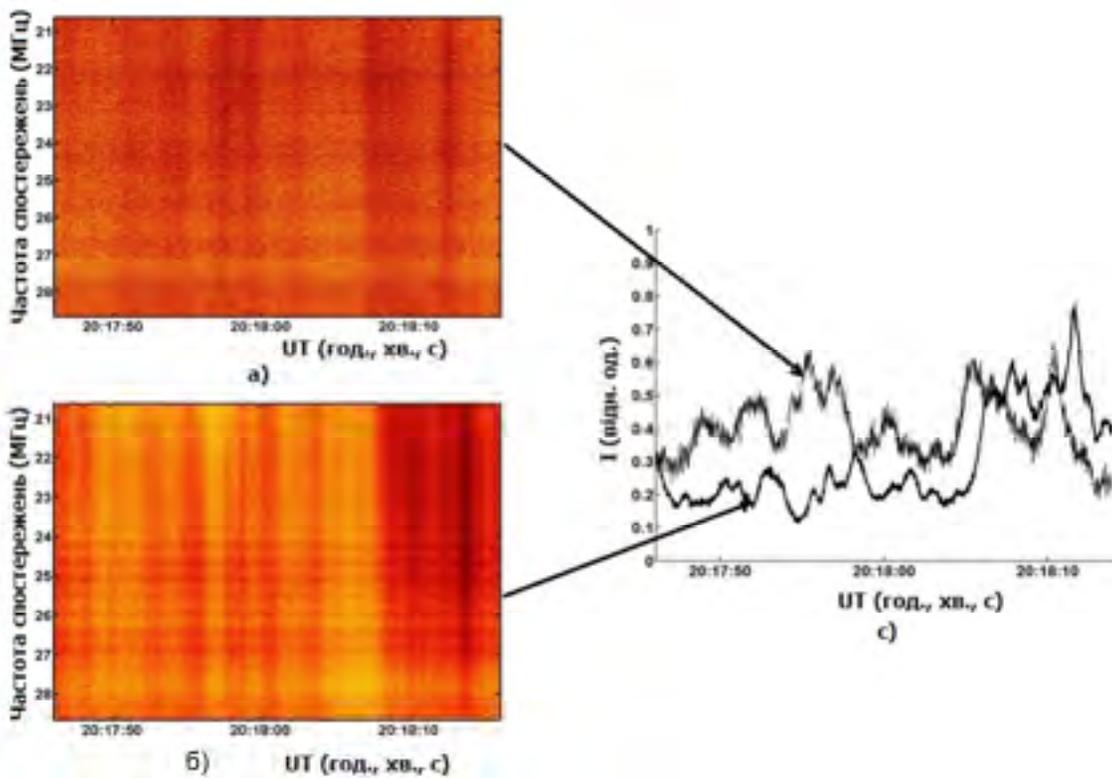


Рис. 27. Динамічні спектри міжпланетних мерехтіннь, отримані під час синхронних спостережень: а – УРАН-2, б – УТР-2, с – переріз цих динамічних спектрів на частоті 25 МГц

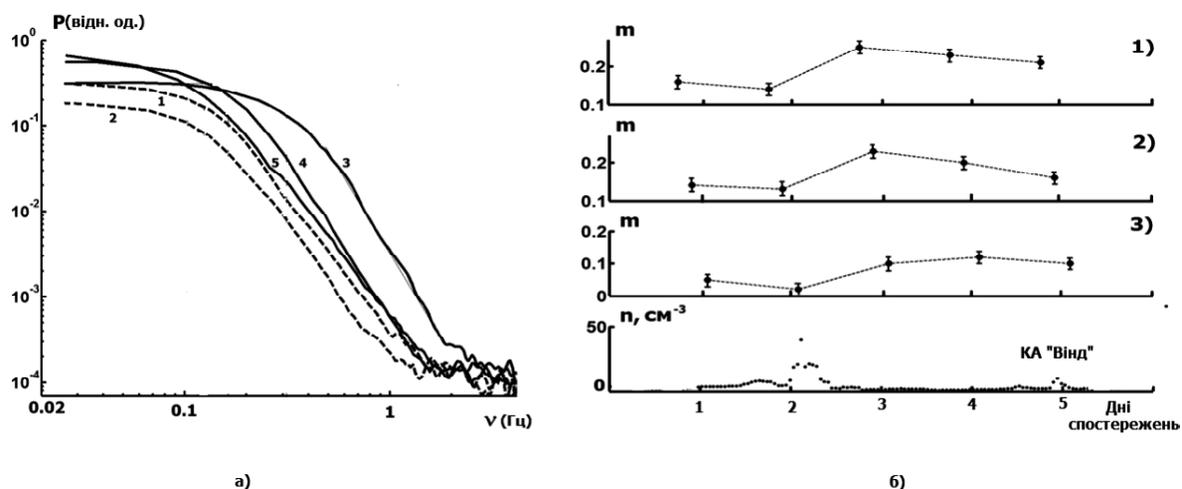


Рис. 28. Спектри міжпланетних мерехтінь одного радіоджерела в рекордно широкому енергетичному діапазоні (4 порядки) (а) та індекс міжпланетних мерехтінь трьох радіоджерел (б). Спектри та індекс міжпланетних мерехтінь дозволяють визначити параметри неоднорідностей міжпланетного середовища, включаючи потікову структуру сонячного вітру (дні 1, 2 – незбурена міжпланетна плазма, дні 3, 4, 5 – викид корональної маси, присутній на промені зору на просвічуюче радіоджерело)

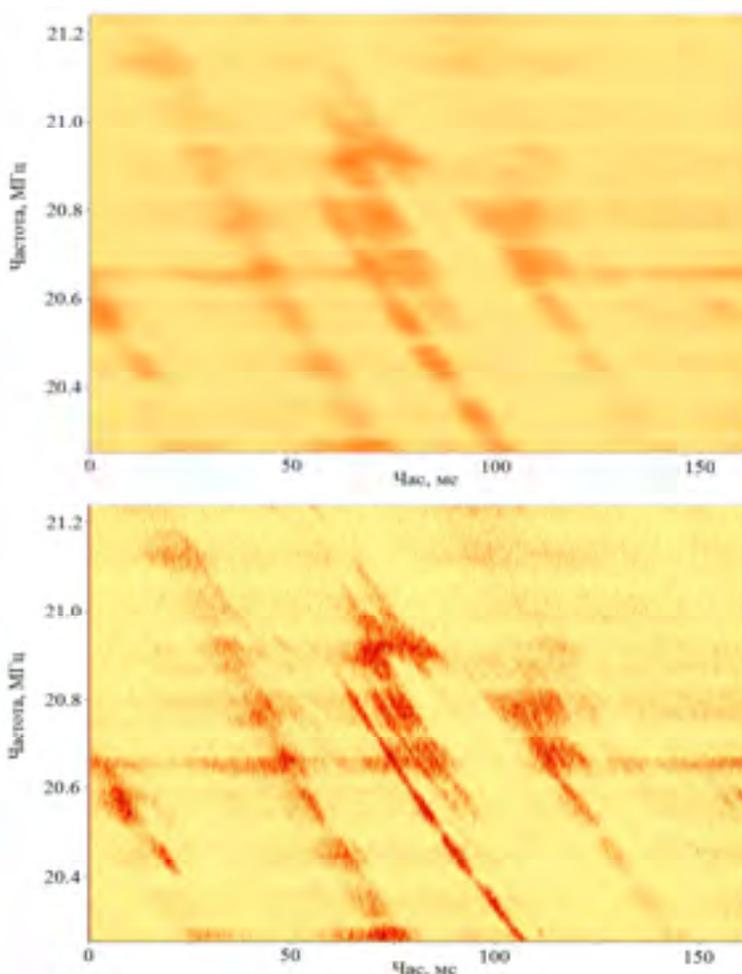


Рис. 29. Порівняння записів сигналів S-сплесків, зроблених з різними часовими та частотними роздільними здатностями: верхня панель – 2 мс та 12.5 кГц, нижня – 60 мкс і 4 кГц. Складні структури з різними частотними дрейфами (на верхній панелі) складаються з простих S-сплесків, модульованих у певній смузі частот (нижня панель)

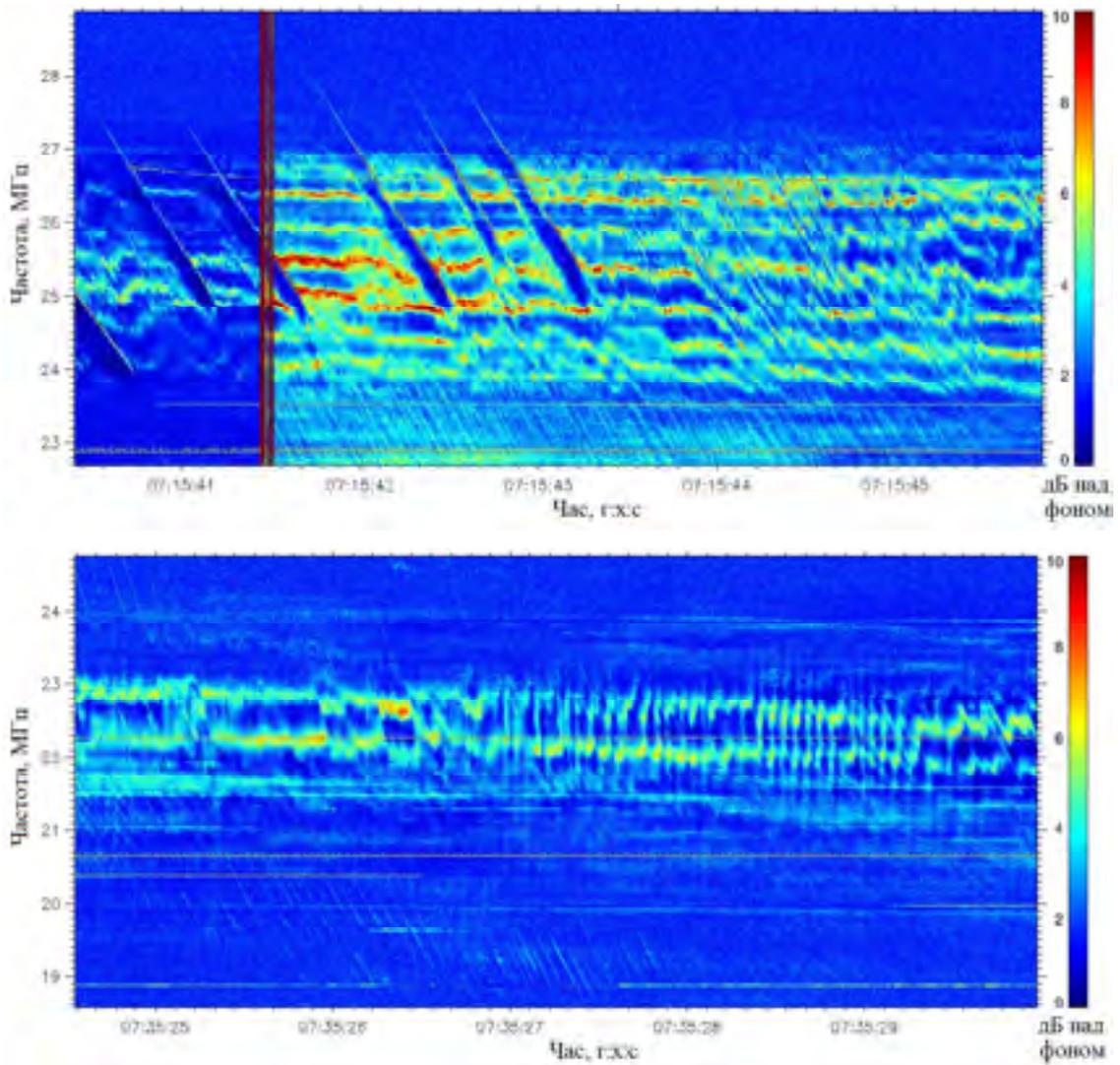


Рис. 30. Сплески поглинання та “зебра”-структури в радіовипромінюванні Юпітера

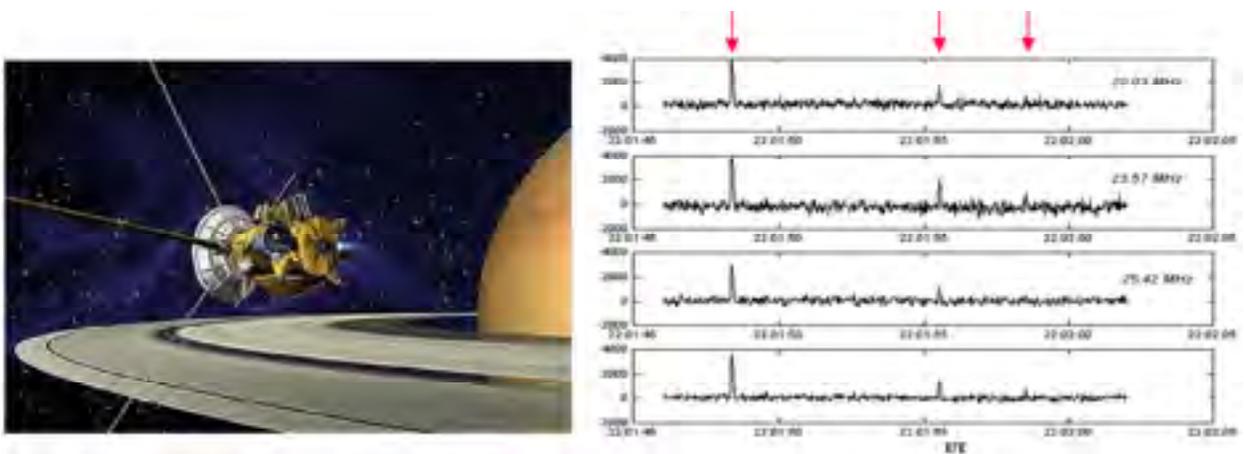


Рис. 31. Космічний апарат “Кассіні” поблизу Сатурна (ліва панель) та записи першої реєстрації блискавок в атмосфері Сатурна (січень 2006 р., права панель)

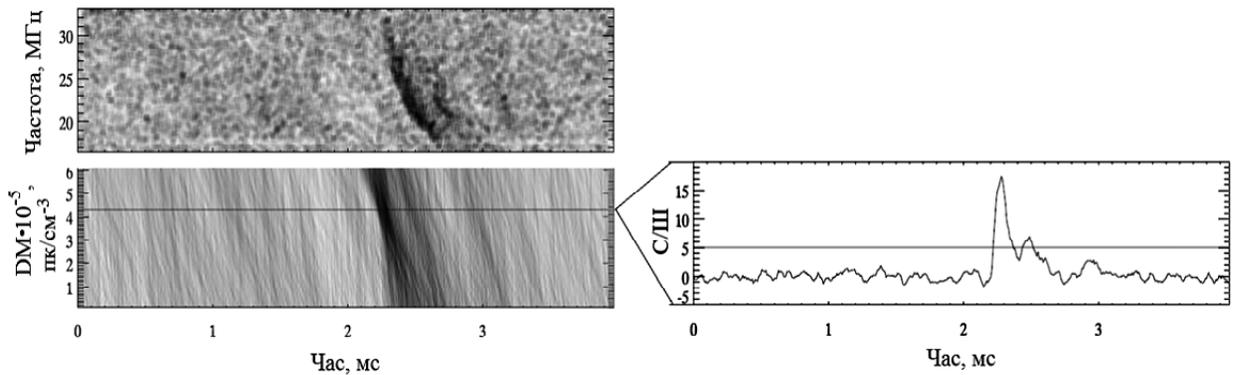


Рис. 32. Відкриття дисперсійного запізнення сигналу – низьких частот відносно високих – до декількох сотень мікросекунд, що дуже добре відповідає передбаченим значенням міри дисперсії для міжпланетної плазми та іоносфер Сатурна та Землі на шляху поширення сигналу (верхня панель). Нижні панелі: зліва – динамічні спектри SED з мікросекундною часовою роздільною здатністю та результати усунення дисперсійної затримки в інтервалі мір дисперсії $0.1 \div 6 \text{ пк/см}^3$; справа – співвідношення сигнал/шум для оптимально підбраної міри дисперсії $(4.3 \pm 0.2) \cdot 10^{-5} \text{ пк/см}^3$

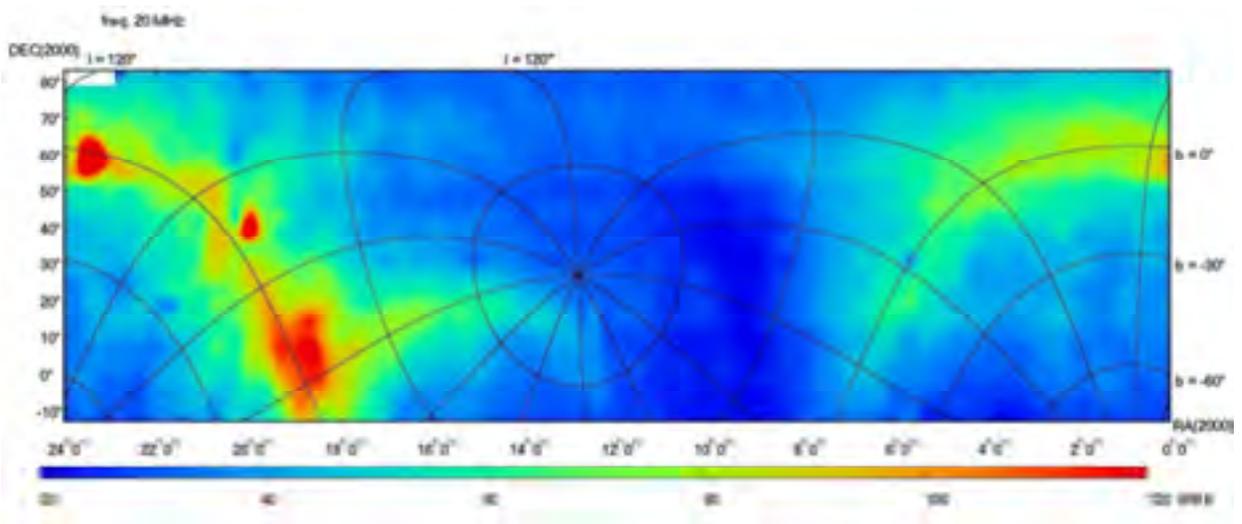


Рис. 33. Карта великомасштабної структури розподілу яскравісної температури північного неба на частоті 20 МГц. Карта побудована за спостереженнями на одній північ-південній секції УТР-2 в комбінації зі спостереженнями на повному радіотелескопі УРАН-2. Просторова роздільна здатність карти становить $\sim 11^\circ \times 7^\circ$. Карта представлена в екваторіальних координатах з накладенням ліній галактичних координат з кроком 30°

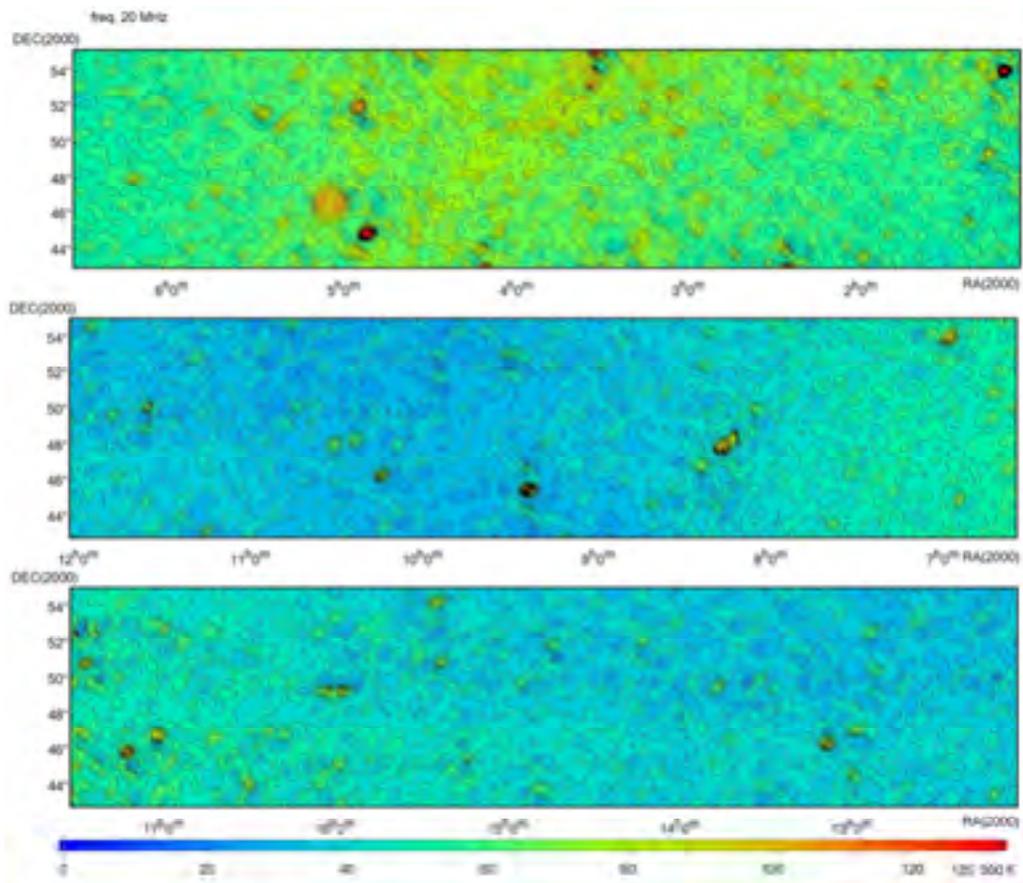


Рис. 34. Фрагменти карти огляду північного неба на УТР-2 на частоті 20 МГц

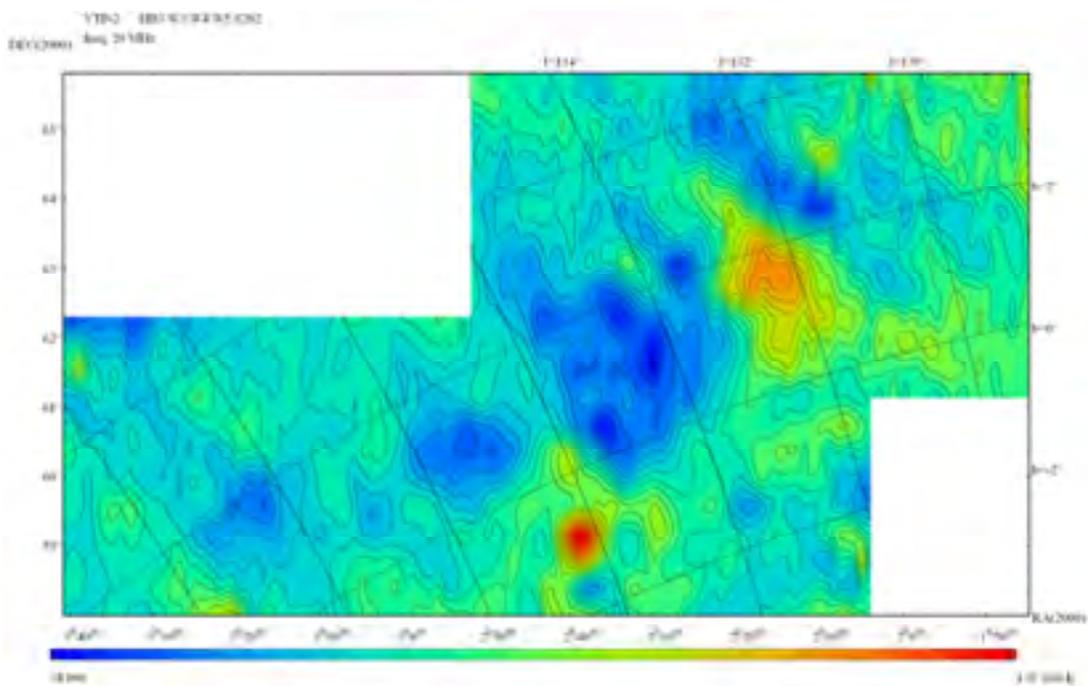
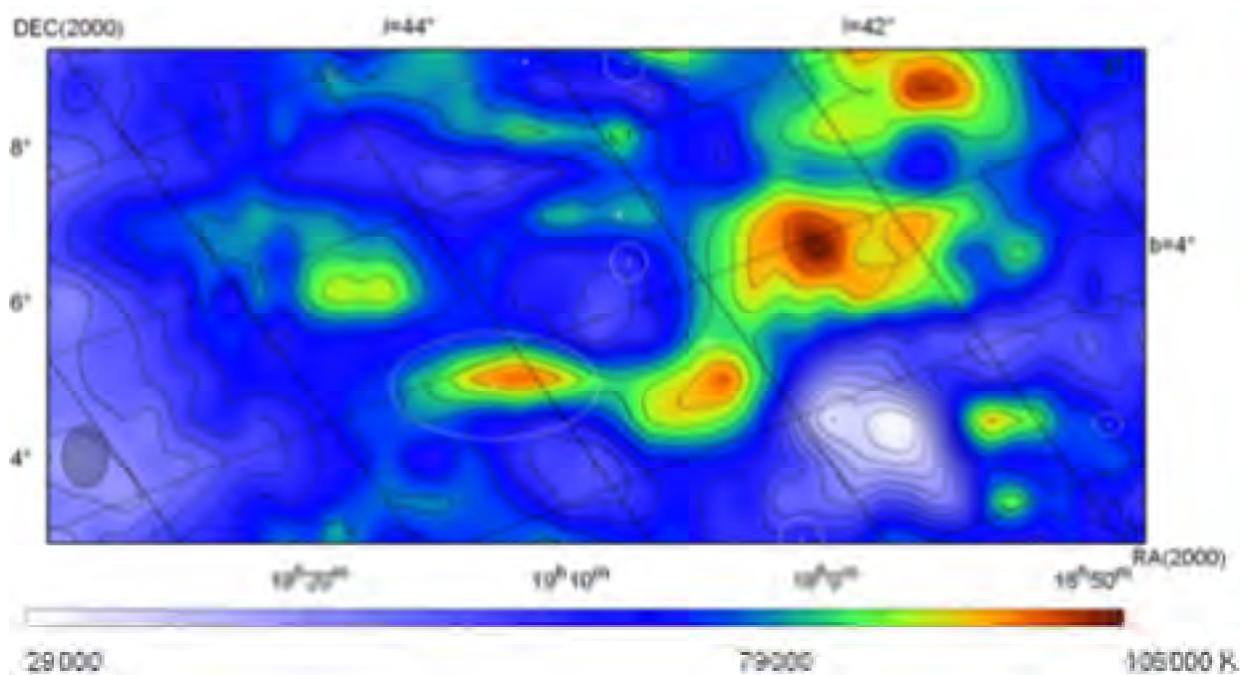


Рис. 35. Карта комплексу HB3\W3\W4\W5 і S202 на 20 МГц. На карті чітко відстежуються в поглинанні області III W4 ($\alpha_{2000} = 2^{\text{h}}33^{\text{m}}$, $\delta_{2000} = 61^{\circ}28'$), W5 ($\alpha_{2000} = 2^{\text{h}}54^{\text{m}}$, $\delta_{2000} = 60^{\circ}27'$), S202 ($\alpha_{2000} = 3^{\text{h}}19^{\text{m}}$, $\delta_{2000} = 59^{\circ}41'$)

UTR-2 SNR's W50 and G36.6+0.7, G36.6+2.6, G39.2-0.3, G40.5-0.5, G41.1-0.3, G42.8+0.6, G43.3-0.2
freq. 25 MHz



UTR-2 SNR's W50 and G36.6+0.7, G36.6+2.6, G39.2-0.3, G40.5-0.5, G41.1-0.3, G42.8+0.6, G43.3-0.2
freq. 14.7 MHz

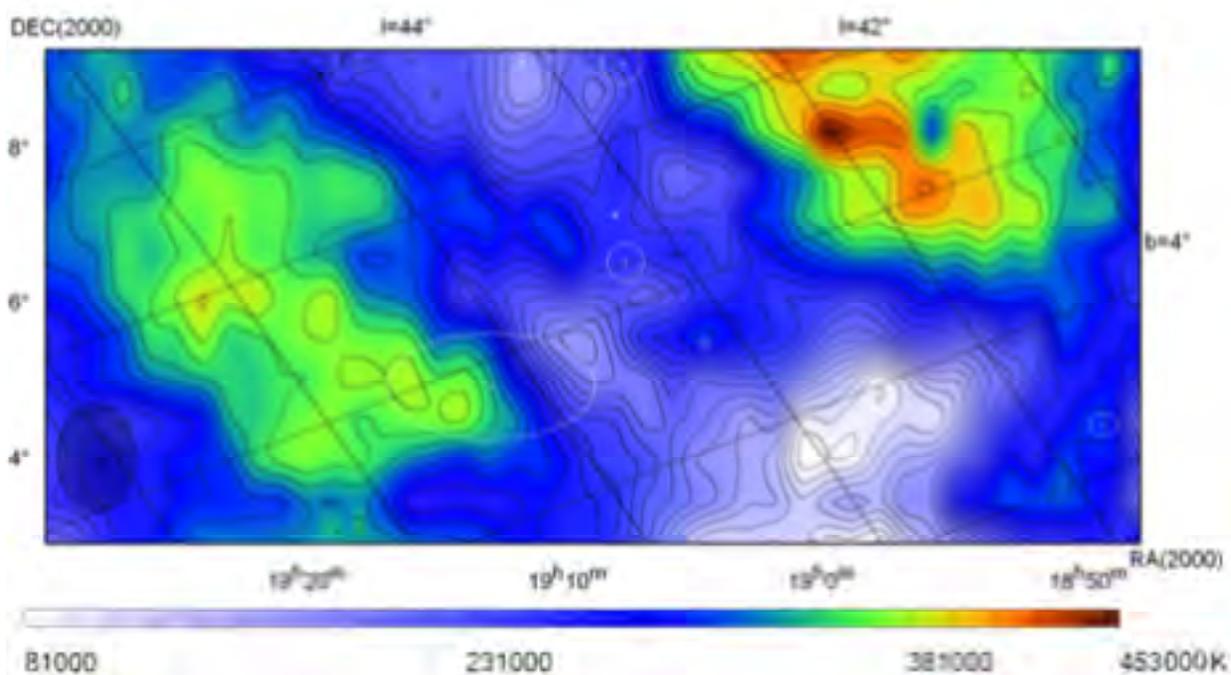


Рис. 36. Радіозображення ділянки диска Галактики в напрямку центра на частотах 25 і 14.7 МГц відповідно. Білим кольором на картах позначені високочастотні межі залишків спалахів наднових (ЗСН). Заштрихованим еліпсом в лівому нижньому кутку карт зазначені кутові розміри діаграм спрямованості УТР-2 за рівнем 0.5

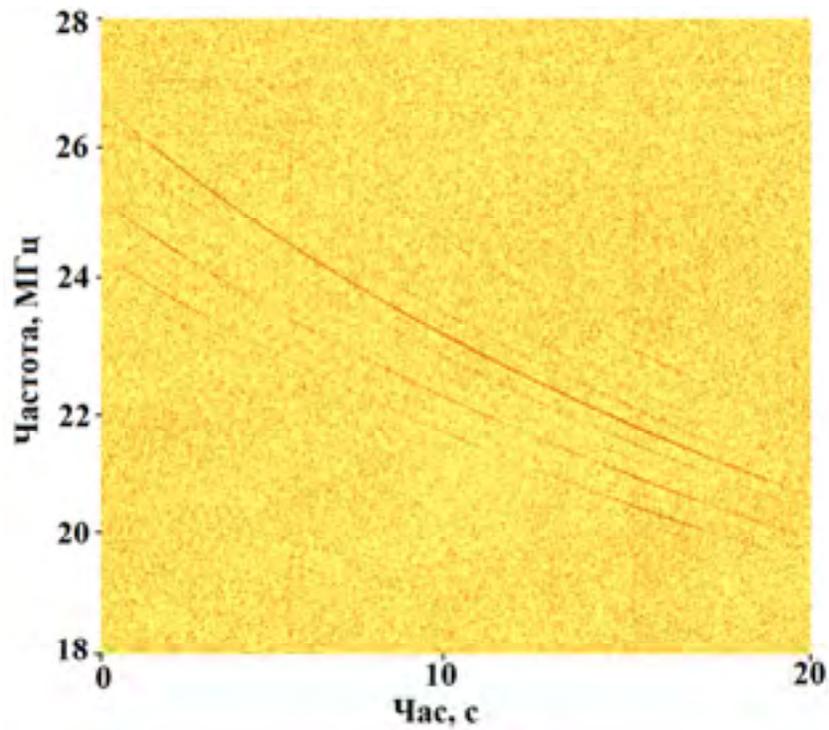


Рис. 37. Динамічний спектр індивідуальних аномально інтенсивних імпульсів пульсара PSR J1136+1551

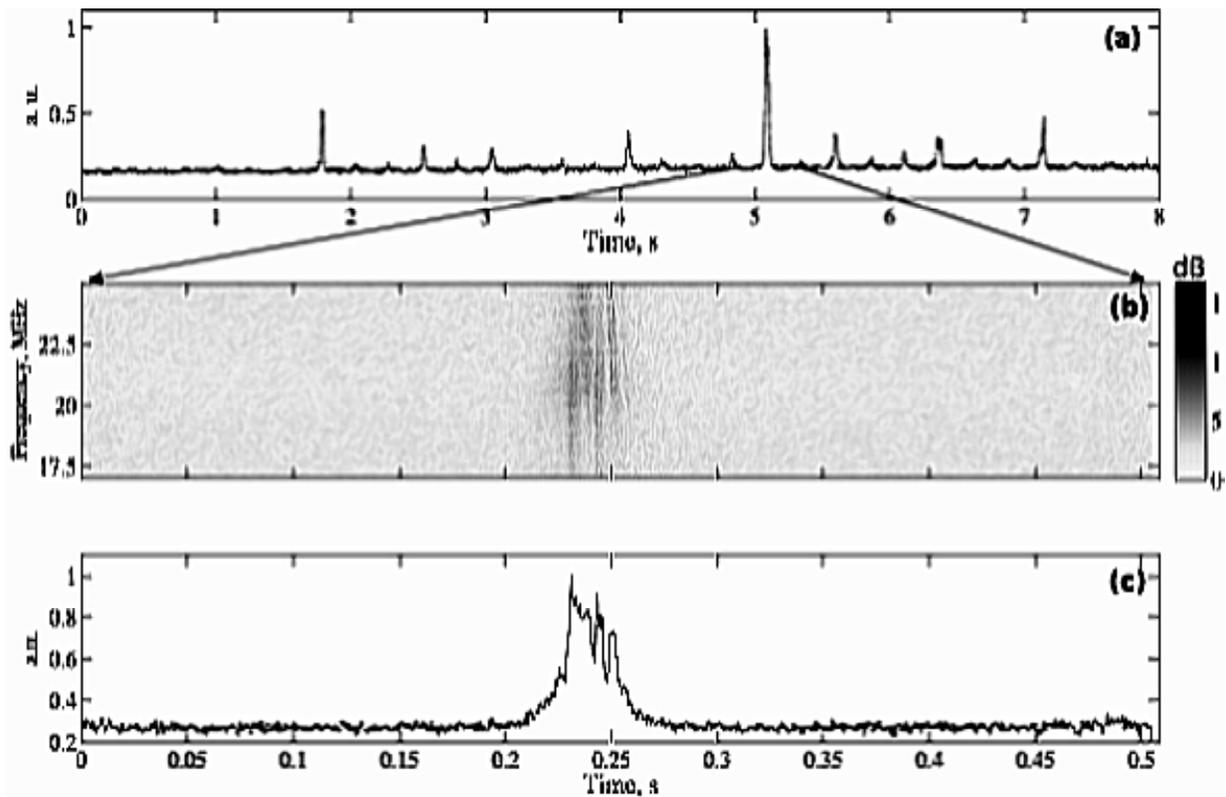


Рис. 38. Послідовність індивідуальних імпульсів пульсара PSR J0953+0755 з аномальною інтенсивністю в діапазоні $17 \div 25$ МГц (a). Динамічний спектр найінтенсивнішого імпульсу, в якому зареєстровано ефект Фарадея (b). Часовий профіль імпульсу, який має найбільшу інтенсивність (c)

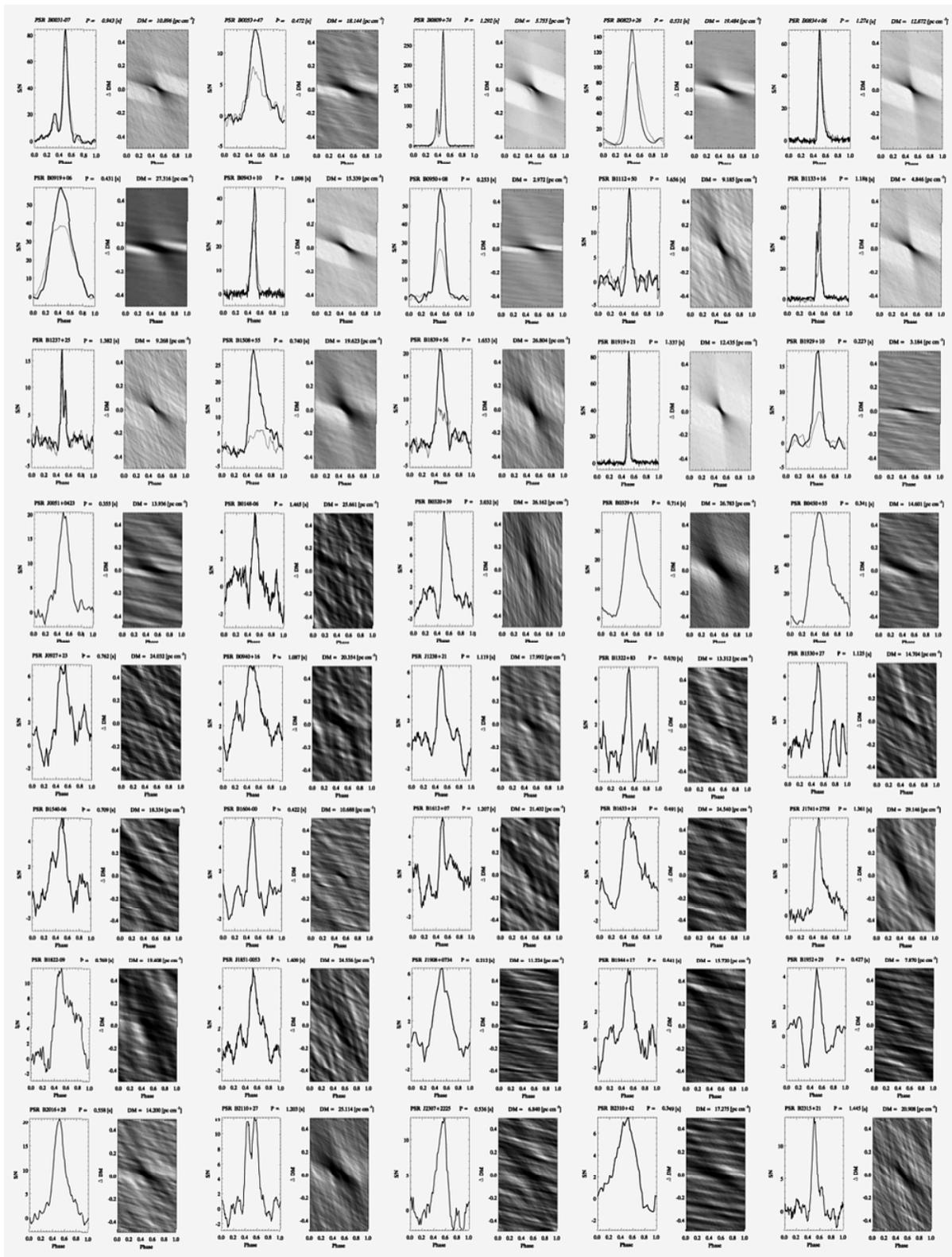


Рис. 39. Детектування дециметрового випромінювання 40 пульсарів за допомогою радіотелескопу УТР-2. Для кожного профілю імпульсу по вертикальній осі відкладена відносна інтенсивність, а по горизонтальній – фаза періоду (від 0 до 1). Праворуч від імпульсу показана мапа залежності максимуму інтенсивності від міри дисперсії та фази імпульсу. Чорна зона біля центру мапи підтверджує реальність детектування та дає точне значення міри дисперсії

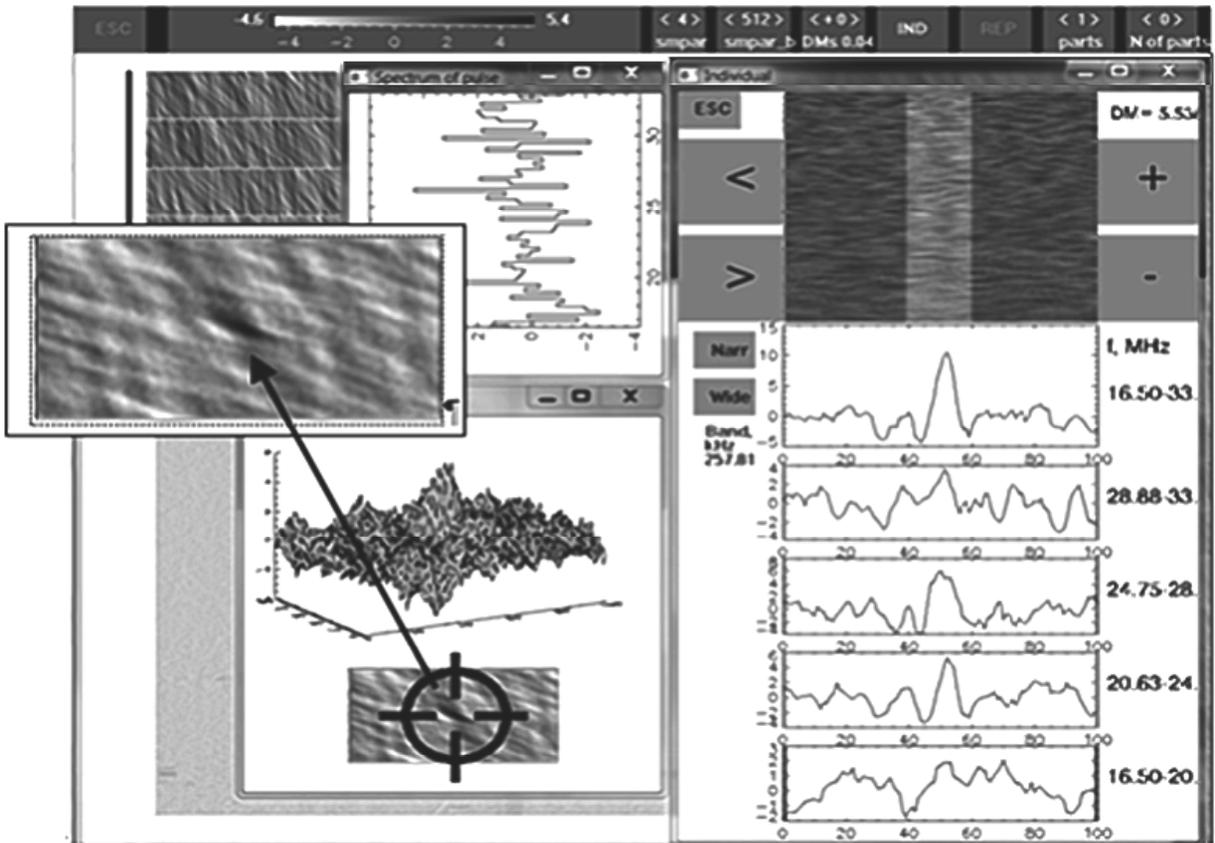


Рис. 40. Детектування транзйентного сигналу невідомого космічного джерела з мірою дисперсії, що не співпадає з жодним відомим пульсаром

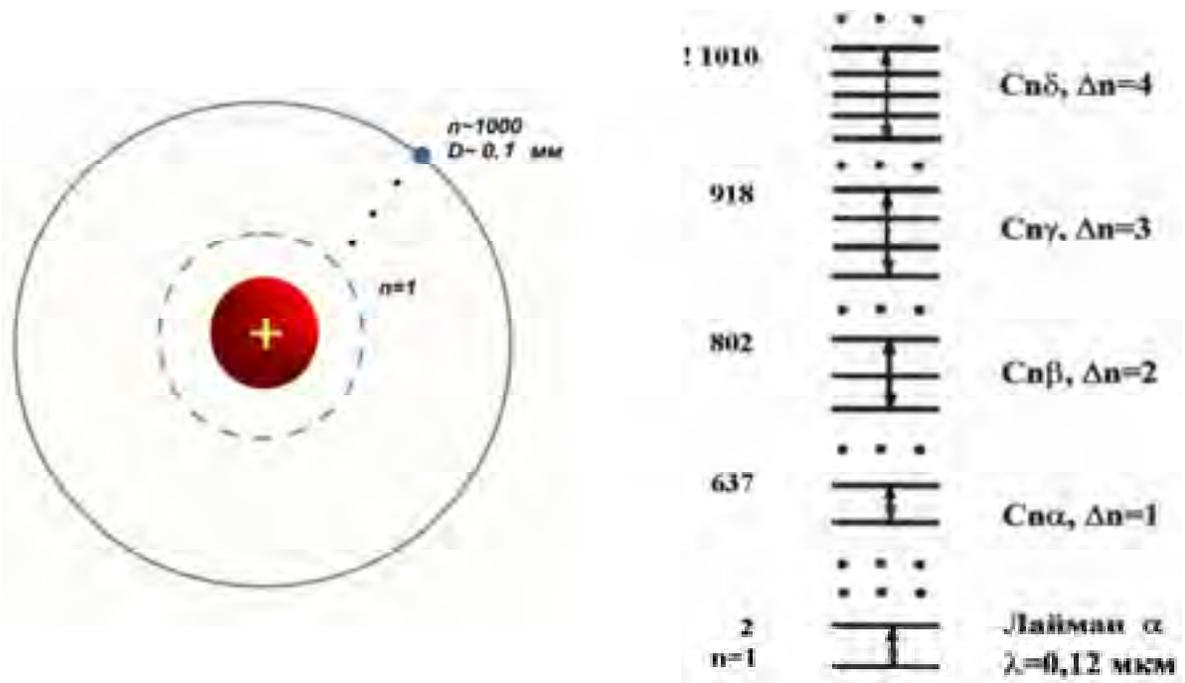


Рис. 41. Схематичне зображення рідбергівського атому, що в результаті процесу рекомбінації став нейтральним у високозбудженому стані (головне квантове число дорівнює приблизно 1000)

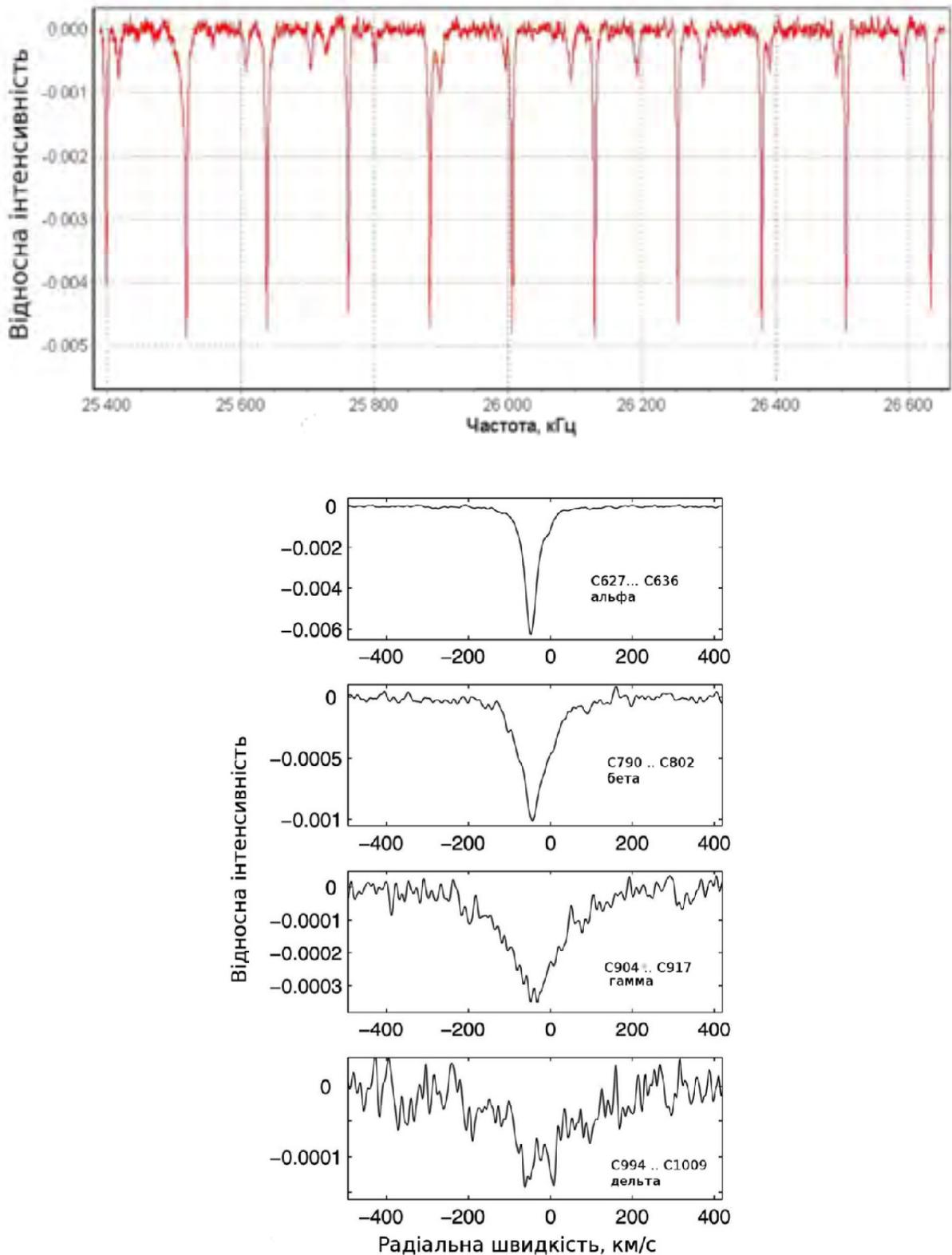


Рис. 42. Параметри ліній (інтенсивність, ширина, форма, механізми іонізації, рекомбінації, нагріву та охолодження значної частини міжзоряного середовища) дають унікальну можливість визначити температуру, щільність, тиск, параметри руху, механізми іонізації, рекомбінації, нагріву та охолодження значної частини міжзоряного середовища. Верхня панель – спектральні лінії у напрямку Кассіопея А поблизу частоти 26 МГц; нижня панель – усереднені спектри α -, β -, γ -, δ -ліній для рекордно високих атомних рівнів у інтервалі $\approx 630 \div 1000$, що були відкриті за допомогою радіотелескопу УТР-2

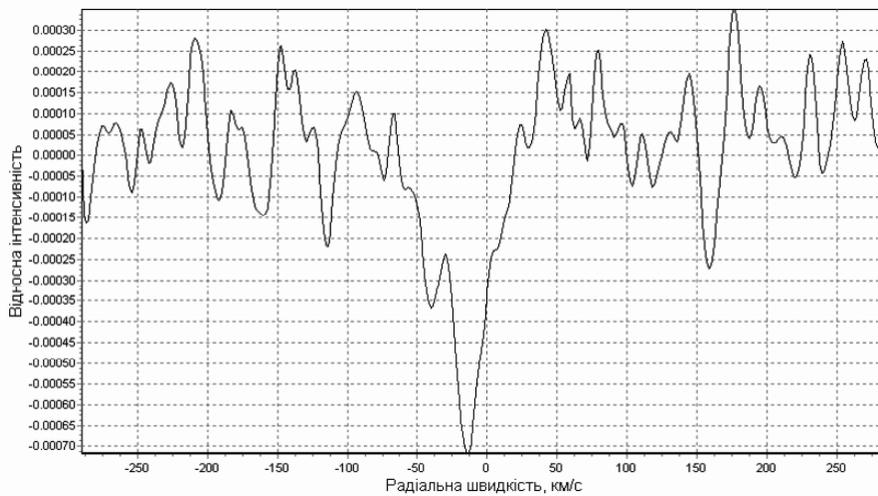


Рис. 43. Середній спектр ліній C 627 α –C 637 α у напрямку S140, що вперше задетектовані на низьких частотах за допомогою УТР-2

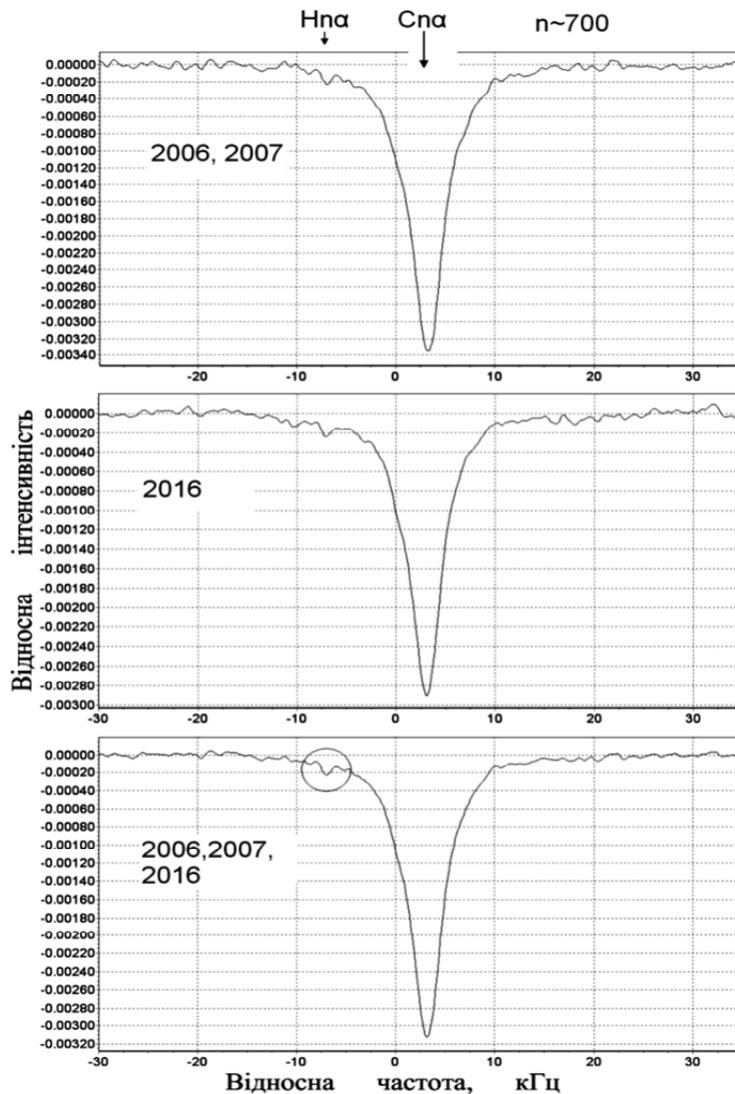


Рис. 44. Рекombінаційні лінії від міжзоряних атомів вуглецю і водню. Середні спектри, що вперше виміряні на частотах 20, 24, 26 МГц у 2006–2016 рр. при спостереженнях на фоні радіоджерела Кассіопея А

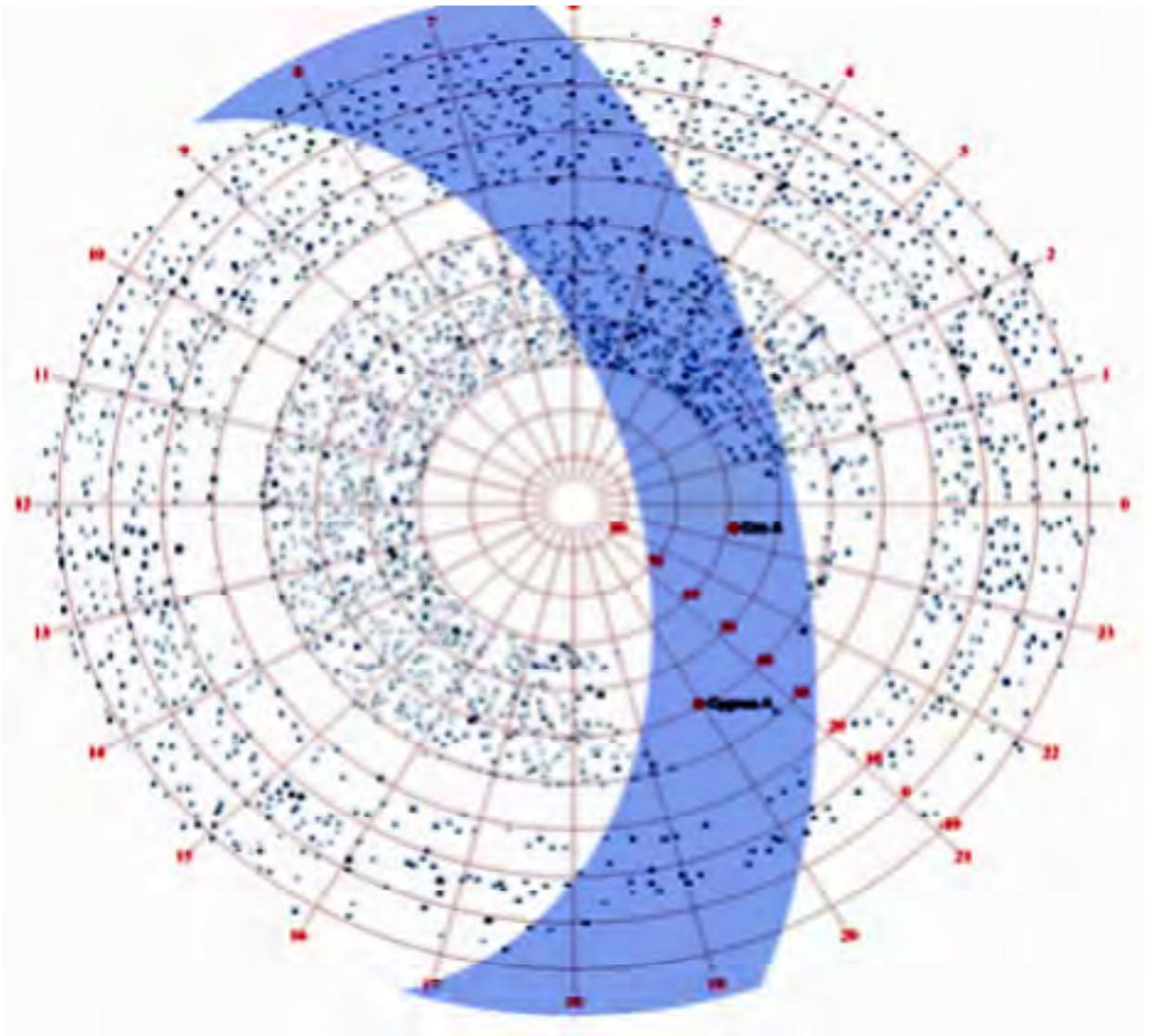


Рис. 45. Положення дискретних радіоджерел із каталогу УТР-2. Спостереження продовжуються для повного покриття інтервалу схилень від -20° до 90°

The UTR-2 Radio Source Catalog

TABLE III

The UTR-2 radio Source Catalogue for the declination range +30° to +40°.

GALACTIC SOURCE NUMBER	SOURCE NAME	J2000 RA H M S	ERR Sec	J2000 DEC Deg.	ERR Deg.	Frq MHz	Flux Jn	ERR PC	N	NRA	Sp Ind	ERR	W	OTHER NAME
114.8-27.6	GR0013+34	00 13 18	14	34.48	0.06		98	15			5.4	1.4	C	4C34.01
		00 13 47	19	34.57	0.08	16.7	98	21	5	1				
		00 13 08	9	34.45	0.04	20.0	37	15	7	1				
115.9-21.6	GR0013+40	00 13 48	21	40.54	0.09		72	21			2.9	0.3	C	4C40.01
		00 12 53	70	40.43	0.29	12.6	215	24	2	1				
		00 13 42	12	40.40	0.05	14.7	112	6	5	1				
		00 13 49	24	40.63	0.10	16.7	66	10	7	1				
114.8-29.7	GR0014+32	00 13 49	10	40.56	0.04	20.0	43	7	22	1				
		00 14 52	14	32.35	0.06		42	10			0.6	0.4	A	4C32.02
		00 14 52	45	32.42	0.19	14.7	78	18	3	1				
		00 15 09	20	32.45	0.08	16.7	62	16	8	2				
118.0-26.8	GR0026+35	00 15 11	13	32.36	0.05	20.0	31	12	14	3				
		00 14 33	10	32.30	0.04	25.0	38	11	14	3				
		00 26 53	14	35.55	0.06		33	15			0.2	0.5	B	
		00 28 11	27	35.42	0.11	16.7	56	24	6	2				
120.1-23.1	GR0034+39	00 26 36	17	35.76	0.07	20.0	27	12	8	2				
		00 26 32	14	35.38	0.06	25.0	34	10	6	2				
		00 34 49	9	39.37	0.04		82	11			0.9	0.4	B	4C39.01
		00 35 40	16	39.23	0.07	12.6	121	14	4	1				
120.7-23.8	GR0038+38	00 35 28	26	39.50	0.11	14.7	108	30	5	2				
		00 34 44	27	39.41	0.11	16.7	80	27	6	2				
		00 34 50	14	39.41	0.06	20.0	61	11	8	2				
		00 34 24	10	39.34	0.04	25.0	65	20	8	2				
		00 38 02	8	38.72	0.04		120	6			3.1	0.6	B	4C38.03
		00 39 12	15	38.59	0.06	16.7	84	22	7	2				
		00 38 18	12	38.68	0.05	20.0	93	14	11	2				
		00 37 31	10	38.79	0.04	25.0	33	12	15	1				

Рис. 46. Фрагмент каталогу позагалактичних радіоджерел, задетектованих на радіотелескопі УТР-2 у декаметровому діапазоні радіохвиль

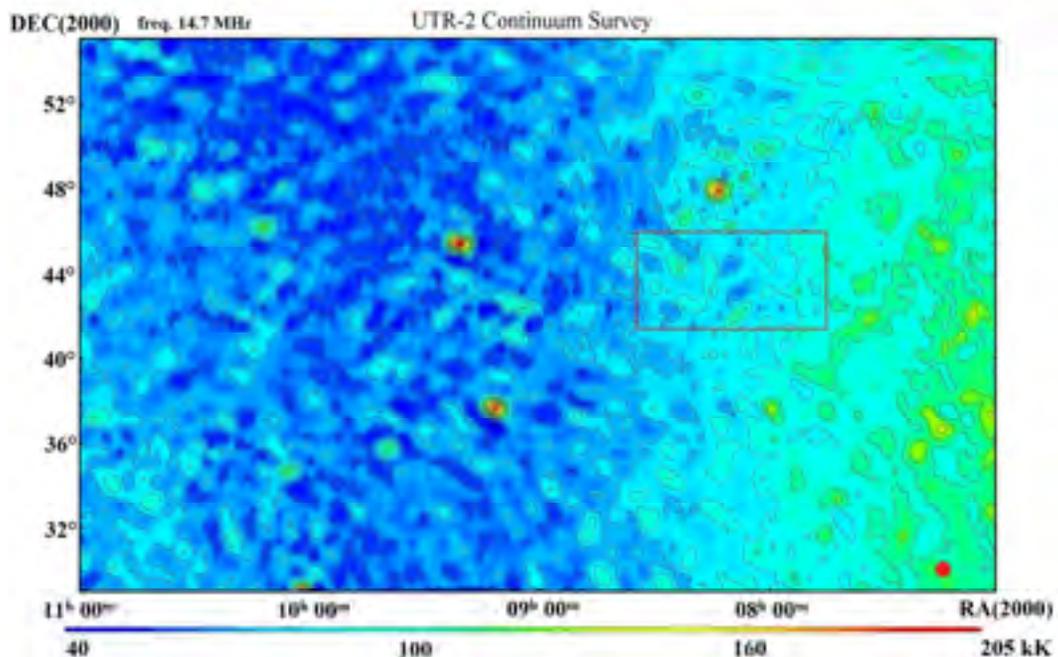


Рис. 47. Карта повної яскравості частини огляду північного неба на частоті 14.7 МГц. Розмір діаграми спрямованості становить $\approx 47' \times 53'$ і позначений еліпсом у правому нижньому кутку карти. Контури карти починаються з 40 кК з кроком 15 кК. Досліджувана область неба для виявлення позагалактичного фону позначена як прямокутник



Рис. 48. Засновник радіоастрономії в Індії В. Радхакрішнан (п'ятий ліворуч) в обсерваторії УТР-2 (1983 р.). Він організував у 1984 р. в обсерваторії Грін Бенк (США) експерименти, що підтвердили відкриття спектральних ліній у 1978 р. харківськими радіоастрономами на УТР-2



Рис. 49. Засновник низькочастотної радіоастрономії у США Б. Еріксон (у центрі) поруч з С. Я. Брауде на УТР-2 (1994 р.)



Рис. 50. Радіоастрономи Франції знайомляться з УТР-2 (спів-керівник україно-французьких проєктів Ф. Зарка третій праворуч, 2011 р.)



Рис. 51. Українські радіоастрономи – співавтори створення радіотелескопу нового покоління NenuFAR у Франції (2015 р.)

- netary lightning. *Space Sci. Rev.* 2008. Vol. 137, Is. 1. P. 257–269. DOI: 10.1007/s11214-008-9366-8
9. Konovalenko A. A., Stanislavsky A. A., Rucker H. O., Lecacheux A., Mann G., Bougeret J.-L., Kaiser M. L., Briand C., Zarka P., Abranin E. P., Dorovsky V. V., Koval A. A., Mel'nik V. N., Mukha D. V., and Panchenko M. Synchronized observations by using the STEREO and the largest ground-based decametre radio telescope. *Exp. Astron.* 2013. Vol. 36, Is. 1-2. P. 137–154. DOI: 10.1007/s10686-012-9326-x
 10. Mel'nik V. N., Konovalenko A. A., Abranin E. P., Dorovskyy V. V., Stanislavsky A. A., Rucker H. O., and Lecacheux A. Solar sporadic radio emission in the decametre waveband. *Astron. Astrophys. Trans.* 2005. Vol. 24, Is. 5. P. 391–401. DOI: 10.1080/10556790600568854
 11. Mel'nik V. N., Konovalenko A. A., Rucker H. O., Stanislavsky A. A., Abranin E. P., Lecacheux A., Mann G., Warmuth A., Zaitsev V. V., Boudjada M. Y., Dorovskii V. V., Zaharenko V. V., Lisachenko V. N., and Rosolen C. Observations of solar type II bursts at frequencies 10–30 MHz. *Sol. Phys.* 2004. Vol. 222, Is. 1. P. 151–166. DOI: 10.1023/B:SOLA.0000036854.66380.a4
 12. Melnik V. N., Shevchuk N. V., Konovalenko A. A., Rucker H. O., Dorovskyy V. V., Poedts S., and Lecacheux A. Solar Decameter Spikes. *Sol. Phys.* 2014. Vol. 289, Is. 5. P. 1701–1714. DOI: 10.1007/s11207-013-0434-1
 13. Briand C., Zaslavsky A., Maksimovic M., Zarka P., Lecacheux A., Rucker H. O., Konovalenko A. A., Abranin E. P., Dorovsky V. V., Stanislavsky A. A., and Mel'nik V. N. Faint solar radio structures from decametric observations. *Astron. Astrophys.* 2008. Vol. 490, No. 1. P. 339–344. DOI: 10.1051/0004-6361:200809842
 14. Stanislavsky A. A., Koval A. A., and Konovalenko A. A. Low-frequency heliographic observations of the quiet Sun corona. *Astron. Nachr.* 2013. Vol. 334, Is. 1. P. 1086–1092. DOI: 10.1002/asna.201211839
 15. Koval A. A., Stanislavsky A. A., Chen Y., Feng S. W., Konovalenko A. A., and Volvach Ya. S. Decameter stationary type IV burst in imaging observations on the 6th of September 2014. *Astrophys. J.* 2016. Vol. 826, Is. 2. id. A125. DOI: 10.3847/0004-637X/826/2/125
 16. Калиниченко Н. Н., Фалькович И. С., Коноваленко А. А., Браженко А. И. Разделение межпланетных и ионосферных мерцаний космических источников в декаметровом диапазоне радиоволн. *Радіофізика і радіоастрономія.* 2013. Т. 18, № 3. С. 210–219.
 17. Калиниченко Н. Н., Коноваленко А. А., Браженко А. И., Соловьев В. В. Корональный выброс массы 15 февраля 2011 г. в межпланетном пространстве и его наблюдения методом мерцаний космических источников в декаметровом диапазоне радиоволн. *Радіофізика і радіоастрономія.* 2013. Т. 18, № 4. С. 301–308.
 18. Ryabov V. B., Zarka P., Hess S., Konovalenko A., Litvinenko G., Zakharenko V., Shevchenko V. A., and Cecconi B. Fast and slow frequency-drifting millisecond bursts in Jovian decametric radio emissions. *Astron. Astrophys.* 2014. Vol. 568. id. A53. DOI: 10.1051/0004-6361/201423927
 19. Imai M., Lecacheux A., Clarke T. E., Higgins C. A., Panchenko M., Dowell J., Imai K., Brazhenko A. I., Frantsuzenko A. V., and Konovalenko A. A. The beaming structures of Jupiter's decametric common S-bursts observed from LWA1, NDA, and URAN2 radio telescopes. *Astrophys. J.* 2016. Vol. 826, No 2. id. 176. DOI: 10.3847/0004-637X/826/2/176
 20. Konovalenko A. A., Kalinichenko N. N., Rucker H. O., Lecacheux A., Fischer G., Zarka P., Zakharenko V. V., Mylostna K. Y., Griebmeier J.-M., Abranin E. P., Falkovich I. S., Sidorchuk K. M., Kurth W. S., Kaiser M. L., and Gurnett D. A. Earliest recorded ground-based decameter wavelength observations of Saturn's lightning during the giant E-storm detected by Cassini spacecraft in early 2006. *Icarus.* 2013. Vol. 224, No. 1. P. 14–23. DOI: 10.1016/j.icarus.2012.07.024
 21. Zakharenko V., Mylostna C., Konovalenko A., Zarka P., Fischer G., Griebmeier J.-M., Litvinenko G., Rucker H., Sidorchuk M., Ryabov B., Vavriv D., Ryabov V., Cecconi B., Coffre A., Denis L., Fabrice C., Pallier L., Schneider J., Kozhyn R., Vinogradov V., Mukha D., Weber R., Shevchenko V., and Nikolaenko V. Ground-based and spacecraft observations of lightning activity on Saturn. *Planet. Space Sci.* 2012. Vol. 61, Is. 1. P. 53–59. DOI: 10.1016/j.pss.2011.07.021
 22. Фалькович И. С., Калиниченко Н. Н. Измерение параметров ионосферы по наблюдаемым поляризационным и траекторным характеристикам декаметрового радиосигнала. *Геомагнетизм и аэрономия.* 1999. Т. 39, № 4. С. 141–144.
 23. Содин Л. Г., Фалькович И. С., Калиниченко Н. Н. Использование поверхностной и пространственной волн для измерения диэлектрической проницаемости почвы и уточнения характеристик наземных антенн. *Радиотехника и электроника.* 1996. Т. 41, № 10. С. 1191–1196.
 24. Василенко Н. М., Муха Д. В., Сидорчук М. А., Сидорчук К. М. Построение и обработка радиокарт Северного неба по наблюдениям в континууме на радиотелескопе УТР-2. *Радіофізика і радіоастрономія.* 2005. Т. 10, № 3. С. 244–253.
 25. Krymkin V. V. and Sidorchuk M. A. Observations of the galactic anticentre region in the direction of PKS0607+17 with the UTR-2 and RATAN-600 radio telescopes. *Astron. Astrophys.* 1988. Vol. 200, No. 1-2. P. 185–190.
 26. Сидорчук М. А., Абраменков Е. А. Остатки вспышек сверхновых HB3, 3C58 и IC443 в декаметровом диапазоне длин волн. *Радіофізика і радіоастрономія.* 2006. Т. 11, № 2. С. 134–154.
 27. Bruck Yu. M., Ulyanov O. M., and Ustimenko B. Yu. Detection and investigation of the radio emission of the pulsar PSR 1530+27 at 25 MHz. *Sov. Astron.* 1986. Vol. 30, Is. 5. P. 574–576.
 28. Ульянов О. М., Захаренко В. В., Коноваленко А. А., Лекашо А., Розолен К., Рукер Х. О. Обнаружение индивидуальных импульсов пульсаров B0809+74; B0834+06; B0943+10; B0950+08; B1133+16 в декаметровом диапазоне волн. *Радіофізика і радіоастрономія.* 2006. Т. 11, № 2. С. 113–133.
 29. Zakharenko V. V., Vasylieva I. Y., Konovalenko A. A., Ulyanov O. M., Serylak M., Zarka P., Griebmeier J.-M., Cognard I., and Nikolaenko V. S. Detection of decameter wavelength pulsed radio emission of 40 known pulsars.

- Mon. Not. R. Astron. Soc.* 2013. Vol. 431, Is. 4. P. 3624–3641. DOI: 10.1093/mnras/stt470
30. Ulyanov O. M., Skoryk A. O., Shevtsova A. I., Plakhov M. S., and Ulyanova O. O. Detection of the fine structure of the pulsar J0953+0755 radio emission in the decametre wave range. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 2015. Vol. 455, Is. 1. P. 150–157. DOI: 10.1093/mnras/stv2172
 31. Vasylieva I. Y., Zakharenko V. V., Konovalenko A. A., Zarka P., Ulyanov O. M., Shevtsova A. I., and Skoryk A. O. Decameter Pulsar/Transient Survey of the Northern Sky. *Радіофізика і радіоастрономія*. 2014. Т. 19, № 3. С. 197–205. DOI: 10.15407/rpra19.03.197
 32. Konovalenko A. A., Stepkin S. V., and Shalunov D. V. Low-Frequency Carbon Recombination Lines. *Радіофізика і радіоастрономія*. 2001. Т. 6, № 1. С. 21–31.
 33. Konovalenko A. A. and Stepkin S. V. Radio Recombination Lines. In: L. I. Gurvits, S. Frey, and S. Rawlings, eds. *Radio Astronomy from Karl Jansky to Microjansky*. Budapest: EAS Publications Series, 2005. Vol. 15. P. 271–295. DOI: 10.1051/eas:2005158
 34. Stepkin S. V., Konovalenko A. A., Kantharia N. G., and Udaya Shankar N. Radio recombination lines from the largest bound atoms in space. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 2007. Vol. 374, Is. 3. P. 852–856. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2006.11190.x
 35. Sidorchuk K. M., Konovalenko A. A., Rucker H. O., Lecacheux A., Denis L., Sidorchuk M. A., Rashkovsky S. L., Dorovsky V. V., and Zakharenko V. V. New methods and equipment of decametric radio astronomy for continuum observation at the UTR-2 radio telescope. *Kinemat. Phys. Celest. Bodies*. 2005. Vol. 21, Is. 5. P. 57–60.
 36. Braude S. Ya., Rashkovsky S. L., Sidorchuk K. M., Sidorchuk M. A., Sokolov K. P., Sharykin N. K., and Zakharenko S. M. Decametric survey of discrete sources in the northern sky. XIIIa. The catalogue of sources in declination range +30° to +40°. *Astrophys. Space Sci.* 2002. Vol. 280, Is. 3. P. 235–300. DOI: 10.1023/A:1015534108849
 37. Василенко Н. М., Сидорчук М. А. Яркостная температура и спектральный индекс внегалактического фона в декаметровом диапазоне длин волн. *Радіофізика і радіоастрономія*. 2015. Т. 20, № 3. С. 205–215. DOI: 10.15407/rpra20.03.204
 38. Zarka P., Bougeret J.-L., Briand C., Cecconi B., Falcke H., Girard J., Grießmeier J.-M., Hess S., Klein-Wolt M., Konovalenko A., Lamy L., Mimoun D., and Aminaï A. Planetary and exoplanetary low frequency radio observations from the Moon. *Planet. Space Sci.* 2012. Vol. 74, Is. 1. P. 156–166. DOI: 10.1016/j.pss.2012.08.004
 39. Karlsson R., Rucker H. O., Mann G., Konovalenko A. A., Breitling F., Dorovsky V. V., and Vocks C. Combined Radio Observations with LOFAR and the Giant Ukrainian Radio Telescope. In: H. O. Rucker, W. S. Kurth, P. Louarn, and G. Fischer, eds. *Planetary Radio Emissions VII, Proceedings of the 7th International Workshop*. Vienna, Austria, September 15–17, 2010. Vienna: Austrian Academy of Sciences Press, 2011. P. 513–520.
 40. Girard J. N., Zarka P., Tagger M., Denis L., Charries D., Konovalenko A., and Boone F. Antenna design and distribution of the LOFAR superstation. *Comptes Rendus Physique*. 2012. Vol. 13, Is. 1. P. 33–37. DOI: 10.1016/j.crhy.2011.11.004

REFERENCES

1. KONOVALENKO, A. A., 2005. Low-Frequency Radio Astronomy Prospects. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 10, special is., pp. S86–S114. (in Russian).
2. LECACHEUX, A., KONOVALENKO, A. A. and RUCKER, H. O., 2004. Using large radio telescopes at decameter wavelength. *Planet. Space Sci.* vol. 52, is. 15, pp. 1357–1374. DOI: 10.1016/j.pss.2004.09.006
3. KONOVALENKO, A. A., RUCKER, H. O., LECACHEUX, A., MEL'NIK, V. N., FALKOVICH, I. S., KALINICHENKO, N. N., OLYAK, M. R., MEGN, A. V., RASHKOVSKIY, S. L., SHEPELEV, V. A., STEPKIN, S. V., MUHA, D. V., SIDORCHUK, M. A., UL'YANOV, O. M., THIDE, B., TOKAREV, YU V., KARASHTIN, A. N., KOSHEVOJ, V. V., LOZYSKIJ, A. B. and BRAZHENKO, A. I., 2006. Utilizing existing decameter radio telescopes as pathfinders towards LOFAR- LWA- LOIS science and technology. In: H. O. RUCKER, W. S. KURTH and G. MANN, eds. *Planetary Radio Emissions VI, Proceedings of the 6th International Workshop*. Vienna, Austria, April 20–22, 2005. Vienna: Austrian Academy of Sciences Press, pp. 507–518.
4. KONOVALENKO, A., SODIN, L., ZAKHARENKO, V., ZARKA, P., ULYANOV, O., SIDORCHUK, M., STEPKIN, S., TOKARSKY, P., MELNIK, V., KALINICHENKO, N., STANISLAVSKY, A., KOLIADIN, V., SHEPELEV, V., DOROVSKYY, V., RYABOV, V., KOVAL, A., BUBNOV, I., YERIN, S., GRIDIN, A., KULISHENKO, V., REZNICHENKO, A., BORTSOV, V., LISACHENKO, V., REZNIK, A., KVASOV, G., MUKHA, D., LITVINENKO, G., KHRISTENKO, A., SHEVCHENKO, V. V., SHEVCHENKO, V. A., BELOV, A., RUDAVIN, E., VASYLIEVA, I., MIROSHNICHENKO, A., VASILENKO, N., OLYAK, M., MYLOSTNA, K., SKORYK, A., SHEVTSOVA, A., PLAKHOV, M., KRAVTSOV, I., VOLVACH, Y., LYTVINENKO, O., SHEVCHUK, N., ZHOUK, I., BOVKUN, V., ANTONOV, A., VAVRIV, D., VINOGRADOV, V., KOZHIN, R., KRAVTSOV, A., BULAKH, E., KUZIN, A., VASILYEV, A., BRAZHENKO, A., VASHCHISHIN, R., PYLAEV, O., KOSHOVYY, V., LOZINSKY, A., IVANTYSHIN, O., RUCKER, H. O., PANCHENKO, M., FISCHER, G., LECACHEUX, A., DENIS, L., COFFRE, A., GRIEBMEIER, J.-M., TAGGER, M., GIRARD, J., CHARRIER, D., BRIAND, C. and MANN, G., 2016. The modern radio astronomy network in Ukraine: UTR-2, URAN and GURT. *Exp. Astron.* vol. 42, is. 1, pp. 11–48. DOI: 10.1007/s10686-016-9498-x
5. KONOVALENKO, A. A., YERIN, S. M., BUBNOV, I. M., TOKARSKY, P. L., ZAKHARENKO, V. V., ULYANOV, O. M., SIDORCHUK, M. A., STEPKIN, S. V., GRIDIN, A. O., KVASOV, G. V., KOLIADIN, V. L., MELNIK, V. M., DOROVSKYY, V. V., KALINICHENKO, M. M., LITVINENKO, G. V., ZARKA, P., DENIS, L., GIRARD, J., RUCKER, H. O., PANCHEN-

- KO, M., STANISLAVSKY, A. A., KHRISTENKO, O. D., MUKHA, D. V., REZNICHENKO, O. M., LISACHENKO, V. M., BORTSOV, V. V., BRAZHENKO, A. I., VASYLIEVA, I. Y., SKORYK, A. O., SHEVTSOVA, A. I. and MYLOSTNA, K. Y., 2016. Astrophysical studies with small low-frequency radio telescopes of new generation. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 21, is. 2, pp. 83–131. DOI: 10.15407/rpra21.02.083
6. ZAKHARENKO, V., KONOVALENKO, A., ZARKA, P., ULYANOV, O., SIDORCHUK, M., STEPKIN, S., KOLIADIN, V., KALINICHENKO, N., STANISLAVSKY, A., DOROVSKYY, V., SHEPELEV, V., BUBNOV, I., YERIN, S., MELNIK, V., KOVAL, A., SHEVCHUK, N., VASYLIEVA, I., MYLOSTNA, K., SHEVTSOVA, A., SKORYK, A., KRAVTSOV, I., VOLVACH, Y., PLAKHOV, M., VASILENKO, N., VASYLKIIVSKY, I. Y., VAVRIV, D., VINOGRADOV, V., KOZHIN, R., KRAVTSOV, A., BULAKH, E., KUZIN, A., VASILYEV, A., RYABOV, V., REZNICHENKO, A., BORTSOV, V., LISACHENKO, V., KVASOV, G., MUKHA, D., LITVINENKO, G., BRAZHENKO, A., VASHCHISHIN, R., PYLAEV, O., KOCHOVYY, V., LOZINSKY, A., IVANTYSHYN, O., RUCKER, H. O., PANCHENKO, M., FISCHER, G., LECACHEUX, A., DENIS, L., COFFRE, A. and GRIEBMEIER, J.-M., 2016. Digital Receivers for Low-Frequency Radio Telescopes UTR-2, URAN, GURT. *J. Astron. Instrum.* vol. 5, is. 4, id. 1641010. DOI: 10.1142/S2251171716410105
 7. KONOVALENKO, A. A., FALKOVICH, I. S., RUCKER, H. O., LECACHEUX, A., ZARKA, P., KOLIADIN, V. L., ZAKHARENKO, V. V., STANISLAVSKY, A. A., MELNIK, V. N., LITVINENKO, G. V., GRIDIN, A. A., BUBNOV, I. N., KALINICHENKO, N. N., REZNIK, A. P., SIDORCHUK, M. A., STEPKIN, S. V., MUKHA, D. V., NIKOLAJENKO, V. S., KARLSSON, R. and THIDE, B., 2011. New antennas and methods for the low frequency stellar and planetary radio astronomy. In: H. O. RUCKER, W. S. KURTH, P. LOUARN and G. FISCHER, eds. *Planetary Radio Emissions VII, Proceedings of the 7th International Workshop*. Vienna, Austria, September 15-17, 2010. Vienna: Austrian Academy of Sciences Press, pp. 521–531.
 8. ZARKA, P., FARRELL, W., FISCHER, G. and KONOVALENKO, A., 2008. Ground-based and space-based radio observations of planetary lightning. *Space Sci. Rev.* vol. 137, is. 1, pp. 257–269. DOI: 10.1007/s11214-008-9366-8
 9. KONOVALENKO, A. A., STANISLAVSKY, A. A., RUCKER, H. O., LECACHEUX, A., MANN, G., BOUDGERET, J.-L., KAISER, M. L., BRIAND, C., ZARKA, P., ABRANIN, E. P., DOROVSKY, V. V., KOVAL, A. A., MEL'NIK, V. N., MUKHA, D. V. and PANCHENKO, M., 2013. Synchronized observations by using the STEREO and the largest ground-based decametre radio telescope. *Exp. Astron.* vol. 36, is. 1-2, pp. 137–154. DOI: 10.1007/s10686-012-9326-x
 10. EL'NIK, V. N., KONOVALENKO, A. A., ABRANIN, E. P., DOROVSKYY, V. V., STANISLAVSKY, A. A., RUCKER, H. O. and LECACHEUX, A., 2005. Solar sporadic radio emission in the decametre waveband. *Astron. Astrophys. Trans.* vol. 24, is. 5, pp. 391–401. DOI: 10.1080/10556790600568854
 11. MEL'NIK, V. N., KONOVALENKO, A. A., RUCKER, H. O., STANISLAVSKY, A. A., ABRANIN, E. P., LECACHEUX, A., MANN, G., WARMUTH, A., ZAITSEV, V. V., BOUDJADA, M. Y., DOROVSKII, V. V., ZAHARENKO, V. V., LISACHENKO, V. N. and ROSOLEN, C., 2004. Observations of solar type II bursts at frequencies 10–30 MHz. *Sol. Phys.* vol. 222, is. 1, pp. 151–166. DOI: 10.1023/B:SOLA.0000036854.66380.a4
 12. MELNIK, V. N., SHEVCHUK, N. V., KONOVALENKO, A. A., RUCKER, H. O., DOROVSKYY, V. V., POEDTS, S. and LECACHEUX, A., 2014. Solar Decameter Spikes. *Sol. Phys.* vol. 289, is. 5, pp. 1701–1714. DOI: 10.1007/s11207-013-0434-1
 13. BRIAND, C., ZASLAVSKY, A., MAKSIMOVIC, M., ZARKA, P., LECACHEUX, A., RUCKER, H. O., KONOVALENKO, A. A., ABRANIN, E. P., DOROVSKY, V. V., STANISLAVSKY, A. A. and MEL'NIK, V. N., 2008. Faint solar radio structures from decametric observations. *Astron. Astrophys.* vol. 490, no. 1, pp. 339–344. DOI: 10.1051/0004-6361/200809842
 14. STANISLAVSKY, A. A., KOVAL, A. A. and KONOVALENKO, A. A., 2013. Low-frequency heliographic observations of the quiet Sun corona. *Astron. Nachr.* vol. 334, is. 1, pp. 1086–1092. DOI: 10.1002/asna.201211839
 15. KOVAL, A. A., STANISLAVSKY, A. A., CHEN, Y., FENG, S. W., KONOVALENKO, A. A. and VOLVACH, YA. S., 2016. Decameter stationary type IV burst in imaging observations on the 6th of September 2014. *Astrophys. J.* vol. 826, is. 2, id. A125. DOI: 10.3847/0004-637X/826/2/125
 16. KALINICHENKO, N. N., FALKOVICH, I. S., KONOVALENKO, A. A. and BRAZHENKO, A. I., 2013. Separation of interplanetary and ionospheric scintillations of cosmic sources at decameter wavelengths. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 18, is. 3, pp. 210–219. (in Russian).
 17. KALINICHENKO, N. N., KONOVALENKO, A. A., BRAZHENKO, A. I. and SOLOV'EV, V. V., 2013. 2011 February 15 CME in the interplanetary medium by observations of radio source scintillations at the decameter wavelengths. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 18, is. 4, pp. 301–308. (in Russian).
 18. RYABOV, V. B., ZARKA, P., HESS, S., KONOVALENKO, A., LITVINENKO, G., ZAKHARENKO, V., SHEVCHENKO, V. A. and CECCONI, B., 2014. Fast and slow frequency-drifting millisecond bursts in Jovian decametric radio emissions. *Astron. Astrophys.* vol. 568, id. A53. DOI: 10.1051/0004-6361/201423927
 19. IMAI, M., LECACHEUX, A., CLARKE, T. E., HIGGINS, C. A., PANCHENKO, M., DOWELL, J., IMAI, K., BRAZHENKO, A. I., FRANTSUZENKO, A. V. and KONOVALENKO, A. A., 2016. The beaming structures of Jupiter's decametric common S-bursts observed from LWA1, NDA, and URAN2 radio telescopes. *Astrophys. J.* vol. 826, no. 2, id. 176. DOI: 10.3847/0004-637X/826/2/176
 20. KONOVALENKO, A. A., KALINICHENKO, N. N., RUCKER, H. O., LECACHEUX, A., FISCHER, G., ZAR-

- KA, P., ZAKHARENKO, V. V., MYLOSTNA, K. Y., GRIEBMEIER, J.-M., ABRANIN, E. P., FALKOVICH, I. S., SIDORCHUK, K. M., KURTH, W. S., KAISER, M. L. and GURNETT, D. A., 2013. Earliest recorded ground-based decameter wavelength observations of Saturn's lightning during the giant E-storm detected by Cassini spacecraft in early 2006. *Icarus*. vol. 224, no. 1, pp. 14–23. DOI: 10.1016/j.icarus.2012.07.024
21. ZAKHARENKO, V., MYLOSTNA, C., KONOVALENKO, A., ZARKA, P., FISCHER, G., GRIEBMEIER, J.-M., LITVINENKO, G., RUCKER, H., SIDORCHUK, M., RYABOV, B., VAVRIV, D., RYABOV, V., CECCONI, B., COFFRE, A., DENIS, L., FABRICE, C., PALLIER, L., SCHNEIDER, J., KOZHYN, R., VINOGRADOV, V., MUKHA, D., WEBER, R., SHEVCHENKO, V. and NIKOLAENKO, V., 2012. Ground-based and spacecraft observations of lightning activity on Saturn. *Planet. Space Sci.* vol. 61, is. 1, pp. 53–59. DOI: 10.1016/j.pss.2011.07.021
 22. FALKOVICH, I. S. and KALINICHENKO, N. N., 1999. Measurement of the parameters of the ionosphere by the observed polarization and trajectory characteristics of the decameter radio signal. *Geomag. Aeron.* vol. 39, is. 4, pp. 141–144. (in Russian).
 23. SODIN, L. G., FALKOVICH, I. S. and KALINICHENKO, N. N., 1996. The use of surface and spatial waves for measuring the soil permittivity and the correction of the ground-based antenna characteristics. *Radio-tehnika i Elektronira*. vol. 41, is.10, pp. 1191–1196. (in Russian).
 24. VASILENKO, N. M., MUKHA, D. V., SIDORCHUK, M. A. and SIDORCHUK, K. M., 2005. Making and Processing the Northern Sky Radio Maps Based on the Continuum Survey with the UTR-2 Radio Telescope. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 10, is. 3, pp. 244–253. (in Russian).
 25. KRYMKIN, V. V. and SIDORCHUK, M. A., 1988. Observations of the galactic anticentre region in the direction of PKS0607+17 with the UTR-2 and RATAN-600 radio telescopes. *Astron. Astrophys.* vol. 200, no. 1-2, pp. 185–190.
 26. SIDORCHUK, M. A. and ABRAMENKOV, E. A., 2006. Supernova remnants HB3, 3C58 and IC443 and decameter waves. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 11, is. 2, pp. 134–154. (in Russian).
 27. BRUCK, YU. M., ULYANOV, O. M. and USTIMENKO, B. YU., 1986. Detection and investigation of the radio emission of the pulsar PSR 1530+27 at 25 MHz. *Sov. Astron.* vol. 30, is. 5, pp. 574–576.
 28. ULYANOV, O. M., ZAKHARENKO, V. V., KONOVALENKO, A. A., LECACHEUX, A., ROSOLEN, C. and RUCKER, H. O., 2006. Detection of individual pulses from pulsars B0809+74; B0834+06; B0943+10; B0950+08 and B1133+16 in the decameter wavelengths. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 11, is. 2, pp. 113–133. (in Russian).
 29. ZAKHARENKO, V. V., VASYLIEVA, I. Y., KONOVALENKO, A. A., ULYANOV, O. M., SERYLAK, M., ZARKA, P., GRIEBMEIER, J.-M., COGNARD, I. and NIKOLAENKO, V. S., 2013. Detection of decametre wavelength pulsed radio emission of 40 known pulsars. *Mon. R. Astron. Soc.* vol. 431, is. 4, pp. 3624–3641. DOI: 10.1093/mnras/stt470
 30. ULYANOV, O. M., SKORYK, A. O., SHEVTSOVA, A. I., PLAKHOV, M. S. and ULYANOVA, O. O., 2015. Detection of the fine structure of the pulsar J0953+0755 radio emission in the decametre wave range. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 455, is. 1, pp. 150–157. DOI: 10.1093/mnras/stv2172
 31. VASYLIEVA, I. Y., ZAKHARENKO, V. V., KONOVALENKO, A. A., ZARKA, P., ULYANOV, O. M., SHEVTSOVA, A. I. and SKORYK, A. O., 2014. Decameter Pulsar/Transient Survey of the Northern Sky. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 19, is. 3, pp. 197–205. DOI: 10.15407/rpra19.03.197
 32. KONOVALENKO, A. A., STEPKIN, S. V. and SHALUNOV, D. V., 2001. Low-Frequency Carbon Recombination Lines. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 6, is. 1, pp. 21–31.
 33. KONOVALENKO, A. A. and STEPKIN, S. V., 2005. Radio Recombination Lines. In: L. I. GURVITS, S. FREY, and S. RAWLINGS, eds. *Radio Astronomy from Karl Jansky to Microjansky*. Budapest: EAS Publicaions Series, vol. 15, pp. 271–295. DOI: 10.1051/eas:2005158
 34. STEPKIN, S. V., KONOVALENKO, A. A., KANTHARIA, N. G. and UDAYA SHANKAR, N., 2007. Radio recombination lines from the largest bound atoms in space. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 374, is. 3, pp. 852–856. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2006.11190.x
 35. SIDORCHUK, K. M., KONOVALENKO, A. A., RUCKER, H. O., LECACHEUX, A., DENIS, L., SIDORCHUK, M. A., RASHKOVSKY, S. L., DOROVSKY, V. V. and ZAKHARENKO, V. V., 2005. New methods and equipment of decametric radio astronomy for continuum observation at the UTR-2 radio telescope. *Kinemat. Phys. Celest. Bodies*. vol. 21, is. 5, pp. 57–60.
 36. BRAUDE, S. YA., RASHKOVSKY, S. L., SIDORCHUK, K. M., SIDORCHUK, M. A., SOKOLOV, K. P., SHARYKIN, N. K. and ZAKHARENKO, S. M., 2002. Decametric survey of discrete sources in the northern sky. XIIIa. The catalogue of sources in declination range +30° to +40°. *Astrophys. Space Sci.* vol. 280, is. 3, pp. 235–300. DOI: 10.1023/A:1015534108849
 37. VASILENKO, N. M. and SIDORCHUK, M. A., 2015. Brightness temperature and spectral index of extragalactic background at decameter wavelengths. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 20, is. 3, pp. 205–215. (in Russian). DOI: 10.15407/rpra20.03.204
 38. ZARKA, P., BOUGERET, J.-L., BRIAND, C., CECCONI, B., FALCKE, H., GIRARD, J., GRIEBMEIER, J.-M., HESS, S., KLEIN-WOLT, M., KONOVALENKO, A., LAMY, L., MIMOUN, D. and AMINAEI, A., 2012. Planetary and exoplanetary low frequency radio observations from the Moon. *Planet. Space Sci.* vol. 74, is. 1, pp. 156–166. DOI: 10.1016/j.pss.2012.08.004
 39. KARLSSON, R., RUCKER, H. O., MANN, G., KONOVALENKO, A. A., BREITLING, F., DOROVSKYY, V. V. and VOCKS, C., 2011. Combined Radio Observations with LOFAR and the Giant Ukrainian Radio Telescope. In: H. O. RUCKER, W. S. KURTH, P. LOUARN and G. FISCHER, eds. *Planetary Radio Emissions VII, Proceedings of the 7th International Workshop*. Vienna,

Austria, September 15-17, 2010. Vienna: Austrian Academy of Sciences Press, pp. 513–520.

40. GIRARD, J. N., ZARKA, P., TAGGER, M., DENIS, L., CHARRIES, D., KONOVALENKO, A. and BOONE, F., 2012. Antenna design and distribution of the LOFAR superstation. *Comptes Rendus Physique*. vol. 13, is. 1, pp. 33–37. DOI: 10.1016/j.crhy.2011.11.004

O. O. Konovalenko, V. V. Zakharenko, M. M. Kalinichenko, V. M. Melnik, M. A. Sidorchuk, A. A. Stanislavsky, S. V. Stepkin, and O. M. Ulyanov

Institute of Radio Astronomy,
National Academy of Sciences of Ukraine,
4, Mystetstv St., Kharkiv, 61002, Ukraine

THE UNIVERSE RADIO EMISSION AT DECAMETER WAVELENGTHS

(by the materials of a series of works awarded
by the State Prize of Ukraine in the field
of science and technology in 2018)

Purpose: The abstract presentation and review of the works of the last 40 years in the field of low-frequency radio astronomy and a summary of their main scientific and technical results, which have been awarded the State Prize of Ukraine in the field of science and technology for 2018.

Design methodology/approach: Unique domestic tools and methods of observation were used for complex long-term experimental and theoretical studies of a large sample of the Universe objects in the range of decameter–meter radio waves.

Findings: High-informative capabilities of low-frequency (8 to 80 MHz) radio astronomy studies of the Solar System, Galaxy and Metagalaxy, which have allowed one to detect and study new astrophysical objects and phenomena, to build and refine their models and mechanisms of cosmic radio emission are shown.

Conclusions: Based on the creation, modernization and use of the world-largest decameter–meter wave radio telescopes UTR-2, URAN, GURT, a large amount of priority scientific and technical results and fundamental discoveries have been obtained in recent decades. New objects and phenomena, radio emission mechanisms, previously unknown energy, spatial, frequency, time, and polarization parameters of signals, which change in an unexpectedly large range of values have been discovered. The means, methods and results of domestic radio astronomy are well known and recognized in the scientific world, they are indispensable, fully demanded and actively used in international studies. The presented cycle of works, the obtained results and the award of the State Prize of Ukraine in the field of science and technology confirm and develop the priority of Ukraine in one of the most relevant areas of modern astronomical science – low-frequency radio astronomy.

Key words: Universe, low-frequency radio astronomy, radio telescope, Solar system, Galaxy, Methagalaxy

A. A. Коноваленко, В. В. Захаренко, Н. Н. Калиниченко, В. М. Мельник, М. А. Сидорчук, А. А. Станиславский, С. В. Степкин, О. М. Ульянов

Радиоастрономический институт НАН Украины,
ул. Мыстэцтв, 4, г. Харьков, 61002, Украина

РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ НА РАДИОДЕКАМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ

(по материалам цикла работ, который получил
Государственную премию Украины
в области науки и техники в 2018 году)

Предмет и цель работы: Реферативное представление и обзор работ последнего 40-летия в области низкочастотной радиоастрономии и обобщение их главных научно-технических результатов, которые удостоены Государственной премии Украины в отрасли науки и техники за 2018 г.

Методы и методология: Использованы уникальные отечественные средства и методы наблюдений для комплексных длительных экспериментальных и теоретических исследований большой выборки объектов Вселенной в диапазоне декаметровых–метровых радиоволн.

Результаты: Показаны высокоинформативные возможности низкочастотных (8 ÷ 80 МГц) радиоастрономических исследований Солнечной системы, Галактики и Метагалактики, которые позволили обнаружить и изучить новые астрофизические объекты и явления, построить и уточнить их модели и механизмы космического радиоизлучения.

Заключение: На основе создания, модернизации и использования самых больших в мире радиотелескопов декаметровых–метровых волн УТР-2, УРАН, ГУРТ в течение последних десятилетий получен большой объем приоритетных научно-технических результатов и фундаментальных открытий. Обнаружены новые объекты и явления, механизмы радиоизлучения, неизвестные ранее энергетические, пространственные, частотные, временные, поляризационные параметры сигналов, которые изменяются в неожиданно большом диапазоне значений. Средства, методы и результаты отечественной радиоастрономии хорошо известны и признаны в научном мире, они есть незаменимыми, всесторонне затребованы и активно используются в международных исследованиях. Представленный цикл работ, полученные результаты и присуждение Государственной премии Украины в отрасли науки и техники подтверждают и развивают приоритет Украины в одном из наиболее актуальных направлений современной астрономической науки – низкочастотной радиоастрономии.

Ключевые слова: Вселенная, низкочастотная радиоастрономия, радиотелескоп, Солнечная система, Галактика, Метагалактика

Статья поступила в редакцию 04.02.2019